



TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISA PENGARUH PENGELASAN *BUILD-UP* PADA
PRODUK *CASTING* KOMPONEN KAPAL TERHADAP
TIMBULNYA INDIKASI LINIER PADA PENGUJIAN
MAGNETIK PARTIKEL DITINJAU DARI SISI METALURGI**

**Rizky Andrianto Prasetya
NRP 4112100099**

**Dosen Pembimbing
Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISA PENGARUH PENGELASAN *BUILD-UP* PADA
PRODUK *CASTING* KOMPONEN KAPAL TERHADAP
TIMBULNYA INDIKASI LINIER PADA PENGUJIAN
MAGNETIK PARTIKEL DITINJAU DARI SISI METALURGI**

**Rizky Andrianto Prasetya
NRP 411210099**

**Dosen Pembimbing
Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.**

**DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



FINAL PROJECT - MN 141581

**BUILD-UP WELDING EFFECT ANALYSIS ON SHIP
COMPONENT CASTING PRODUCTS TOWARDS LINIER
INDICATION APPEARANCE ON MAGNETIC PARTICLE
TESTING ON METALLURGICAL VIEWS**

**Rizky Andrianto Prasetya
NRP 4112100099**

**Supervisor(s)
Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.**

**DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PENGARUH PENGELASAN BUILD UP PADA PRODUK CASTING KOMPONEN KAPAL TERHADAP TIMBULNYA INDIKASI LINIER PADA PENGUJIAN MAGNETIK PARTIKEL DITINJAU DARI SISI METALURGI

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

RIZKY ANDRIANTO PRASETYA
NRP 4112100099

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing


Wing Hendropresetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.
NIP 19700615 199512 1 001

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan


Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 26 JANUARI 2018

LEMBAR REVISI

ANALISA PENGARUH PENGELASAN BUILD UP PADA PRODUK CASTING KOMPONEN KAPAL TERHADAP TIMBULNYA INDIKASI LINIER PADA PENGUJIAN MAGNETIK PARTIKEL DITINJAU DARI SISI METALURGI

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 16 Januari 2018

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

RIZKY ANDRIANTO PRASETYA
NRP 4112100099

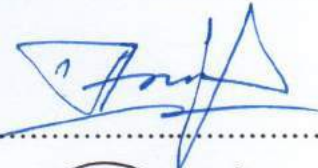
Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. M. Sholikhhan Arif, S.T., M.T.



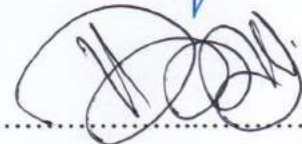
.....

2. Totok Yulianto, S.T., M.T..




.....

3. Dony Setyawan, S.T., M.Eng.



.....


4. M. Nurul Misbah, S.T., M.T.



.....

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Wing Hendroprasetyo A.P. , S.T., M.Eng



.....

SURABAYA, 25 JANUARI 2018

Dipersembahkan kepada kedua orang tua, kakak dan adik atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, berkah, dan hidayah-nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Penulisan tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi persyaratan sebelum mengerjakan tugas akhir dan sebagai prasyarat kelulusan program sarjana teknik perkapalan ITS.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing dan dosen wali atas bimbingan, motivasi, kritik dan saran selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Bapak Ir.Wasis Dwi Aryawan, M.Sc, Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Perkapalan-FTK ITS yang telah memberikan motivasi selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
3. Bapak Totok Yulianto, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas izin pemakaian fasilitas laboratorium;
4. Keluarga di rumah terutama ayah dan ibu tersayang: Herry Sudradjat, S.H., M.M. dan Yanti Kartikasari, S.E. yang tidak pernah berhenti memberikan doa, semangat dan dukungan yang penuh dalam menyelesaikan studi di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS;
5. Seluruh dosen di Departemen Teknik Perkapalan atas ilmu-ilmu berharga yang telah diajarkan selama kuliah;
6. Pak Didi, Pak Pardi, Pak Deny, Pak Yanto, Mas Joko, Pak Fayril, Mas Dimas, Mas Ergi yang selalu siap membantu kapan pun dalam pengerjaan tugas akhir ini;
7. Andika Ekaputra, Annisa Intan, Arsyad Iqbal, Riska Andriani, Reza Aristyo, dan Distya Aulia yang selalu memberikan dukungan selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
8. Riza Fahruzi, M. Furqon, Hari Prasetyo, Rhesa Xylon, Faishal Thalib, M. Adnin, Tera rengganis, Nate, Aprasetyo, rekan pentol dan rekan P52 FORECASTLE yang membantu saya selama pengerjaan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, Januari 2018

Rizky Andrianto Prasetya

ANALISA PENGARUH PENGELASAN *BUILD-UP* PADA PRODUK *CASTING* KOMPONEN KAPAL TERHADAP TIMBULNYA INDIKASI LINIER PADA PENGUJIAN MAGNETIK PARTIKEL DITINJAU DARI SISI METALURGI

Nama Mahasiswa : Rizky Andrianto Prasetya
NRP : 4112100099
Departemen / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

ABSTRAK

Penggunaan *cast iron* di dunia terus berkembang, termasuk di dunia industri perkapalan. Produk *casting* dapat memiliki kerusakan seperti *crack* sehingga untuk memperbaiki kerusakan tersebut dapat dilakukan pengelasan *build-up*. Penelitian ini akan membahas mengenai adanya indikasi yang timbul pada *cast iron* yang telah dilakukan pengelasan *build-up* pada pengujian magnetik partikel.

Pada tugas akhir ini digunakan dua buah material yang dilas memakai elektroda E7016 dan elektroda ENi-CI. Perbedaan elektroda ini mempengaruhi hasil las-lasan dikarenakan faktor cara pengelasan yang berbeda seperti, arus, kandungan material pada elektroda, dan perlakuan panas. Setelah dilakukan pengelasan kemudian spesimen diuji magnetik partikel. Kemudian untuk melihat struktur mikro pada material setelah dilakukan pengelasan *build-up*, material dipotong untuk pengujian foto mikro. Pada pengujian foto mikro terdapat sembilan titik yang jaraknya masing masing adalah 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm di sisi kanan dari *weld metal*, 10 mm, 20 mm, 30 mm di sisi kiri dari *weld metal*, 10 mm, 20 mm, dibawah *weld metal*.

Dari hasil pengujian magnetik partikel ditemukan adanya indikasi pada kedua material setelah dilakukan pengelasan. Dari hasil pengujian foto mikro terdapat *dispersion of fine spheroidized carbide particles* yang berupa sementit eutektik pada kedua material dan struktur tersebut dapat menyebabkan perubahan arah gaya magnet pada pengujian magnetik partikel yang menimbulkan indikasi linier. Hal ini disebabkan karena struktur tersebut memiliki kandungan karbon yang tinggi dan bersifat paramagnetik dan mengganggu induksi magnet pada pengujian magnetik partikel.

Kata kunci: Magnetik Partikel, *Cast iron*, pengelasan *build-up*, NDT, Struktur mikro.

BUILD-UP WELDING EFFECT ANALYSIS ON SHIP COMPONENT CASTING PRODUCTS TOWARDS LINIER INDICATION APPEARANCE ON MAGNETIC PARTICLE TESTING ON METALLURGICAL VIEWS

Author : Rizky Andrianto Prasetya
ID No. : 4112100099
Dept. / Faculty : Naval Architecture & Shipbuilding Engineering / Marine Technology
Supervisors : Wing Hendroprasetyo Akbar Putra, S.T., M.Eng.

ABSTRACT

Cast iron has been widely used in shipbuilding industry recently. However, casting products tend to crack that can be repaired using build-up welding. This research investigates the presence of indication on build-up welded areas on cast iron products, during magnetic particle inspection.

This study uses two materials that were welded using E7016 and ENi-CI electrodes. The two different type of electrodes affect welding result due to the different process, such as current, material composition, and heat treatment. After welding were accomplished, the materials were magnetic particle inspected. The materials were sectioned on the areas of build-up welded using microstructure photographs. There are nine spots were taken, 5 mm, 10 mm, 15 mm, and 20 mm on the right side from *weld metal*, and 10 mm, 20 mm, and 30mm on the left side from *weld metal*, and 10 mm, 20 mm below the *weld metal*.

Results from the study using magnetic particle testing discovered that indications were existed on both materials after welding procedure. Results from metallography and microstructure on both material, dispersion of fine spheroidized carbide particles discovered as cementite eutectic on both material that caused magnet force line changed as magnetic particle test is used, causing nonrelevant linear indication. The reason of changes in magnet force line was caused by high carbon composite and paramagnetic nature in the materials which interrupted magnet induction on the magnetic particle testing.

Keywords: Particle Magnetic, Cast iron, Build-up Welding, NDT, Micro Structure.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
HALAMAN PERUNTUKAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xv
Bab I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang Masalah.....	1
I.2. Perumusan Masalah.....	2
I.3. Tujuan.....	2
I.4. Batasan Masalah.....	2
I.5. Manfaat.....	2
I.6. Hipotesis.....	2
Bab II STUDI LITERATUR	3
II.1. Dasar Teori.....	3
II.1.1. Besi tuang putih (<i>white cast iron</i>)	3
II.1.2. Besi tuang mampu tempa (<i>malleable cast iron</i>).....	5
II.1.3. Besi tuang kelabu (<i>grey cast iron</i>).....	6
II.1.3.1. Pengaruh unsur lain terhadap besi tuang	8
II.1.3.2. Ukuran dan distribusi dari grafit <i>flake</i>	10
II.1.4. Besi tuang nodular (<i>nodular cast iron</i>)	13
II.2. <i>Magnetic particle inspection (MPI)</i>	15
II.2.1. Prinsip magnetisasi	16
II.2.2. <i>Magnetic domain</i> dan <i>domain walls</i>	18
II.2.3. Prinsip pengujian	19
II.2.4. Magnet sisa dan demagnetisasi.....	20
II.2.4.1. Yoke demagnetisasi	21
II.2.5. Arus AC dan DC	21
II.2.5.1. Arus AC	21
II.2.5.2. Arus DC	22
II.2.6. Karakteristik penembusan	23
II.2.7. Peralatan pengujian partikel magnetik	24
II.2.7.1. <i>Electromagnetic yoke</i>	24
II.2.7.2. Pengujian <i>Wet Visible Particle</i>	24
II.2.7.3. Jenis-jenis indikasi pada pengujian magnetik partikel	25
II.3. Proses pengelasan <i>Shielded Metal Arc Welding (SMAW)</i>	27
II.3.1. Prinsip.....	27
II.3.2. Prosedur pengelasan pada <i>cast iron</i>	27
II.3.2.1. <i>Copper-base electrodes</i> (ECuSn-A dan C).....	28
II.3.2.2. <i>Copper aluminium alloy electrodes</i> (ECuAl-A2).....	29

II.3.2.3.	<i>Nickel electrode (Ni)</i>	29
II.3.2.4.	<i>Mild steel electrode (E St)</i>	30
II.3.3.	Keuntungan dan Kelemahan SMAW	31
Bab III	METODOLOGI	33
III.1.	Diagram Alir	33
III.2.	Persiapan Uji Tarik.....	35
III.3.	Pembuatan <i>Welding Procedure Specification (WPS)</i>	37
III.4.	Persiapan Material dan Alat	40
III.5.	Proses Pembuatan alur	42
III.6.	Proses pengelasan.....	43
III.6.1.	Material 1 (satu).....	43
III.6.2.	Material 2 (Dua).....	45
III.7.	Proses Pengujian <i>Magnetic Particle</i>	48
III.7.1.	Partikel magnetik	48
III.7.2.	Prosedur pengujian	48
III.8.	Proses Pengujian Foto Mikro	52
III.8.1.	Persiapan material.....	52
III.8.2.	<i>Etching</i> dan Foto Mikro	53
Bab IV	Hasil dan pembahasan	55
IV.1.	Hasil uji tarik.....	55
IV.2.	Pengujian magnetik partikel.....	55
IV.2.1.	Pengujian magnetik partikel pada material 1	56
IV.2.2.	Pengujian magnetik partikel pada material 2 (dua)	59
IV.3.	Pengujian foto mikro.....	64
IV.3.1.	Hasil pengujian foto mikro sebelum dilakukan pengelasan	64
IV.3.2.	Hasil pengujian foto mikro pada material 1 (satu).....	65
IV.3.3.	Hasil pengujian foto mikro pada material 2 (dua)	71
IV.4.	<i>Fine spheroidized carbide particles</i>	77
IV.5.	Pengaruh terhadap pengujian magnetik partikel	77
Bab V	KESIMPULAN DAN SARAN	79
V.1.	Kesimpulan.....	79
V.2.	Saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN		
LAMPIRAN A	HASIL UJI TARIK	
LAMPIRAN B	<i>WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)</i>	
LAMPIRAN C	<i>MAGNETIC PARTICLE TESTING OF WELD – ACCEPTANCE LEVEL</i>	
LAMPIRAN D	MICROSTRUCTURE OF CAST IRONS	
LAMPIRAN E	RULES OF MATERIALS	
BIODATA PENULIS		

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1. Diagram fase metastabil besi – karbida besi	4
Gambar II.2. Struktur mikro besi tuang putih (a) area gelap adalah dendrit primer dari austenit yang bertransformasi (perlit) yang dikelilingi jaringan sementit (putih), 20x, (b) strukturmikro pada perbesaran 250x menunjukkan perlit (gelap) dan sementit (putih).....	5
Gambar II.3. Diagram fasa <i>stable iron-graphite</i> (garis putus-putus) <i>superimposed</i> pada diagram <i>metastable iron-iron carbide</i>	6
Gambar II.4. Struktur mikro besi tuang kelabu dengan pembesaran 500x	7
Gambar II.5. Struktur mikro dan fase yang terjadi pada berbagai temperatur	8
Gambar II.6. Pengaruh kadar silikon terhadap struktur matriks besi tuang kelabu.....	9
Gambar II.7. Chart ukuran grafit flake oleh ASTM dan AFS.....	11
Gambar II.8. Macam-macam tipe penyebaran grafit flake.....	12
Gambar II.9. Besi tuang nodular, memperlihatkan bentuk spheroid grafit yang bulat dan solid.	14
Gambar II.10. Besi tuang nodular ferritik, memperlihatkan spheroid grafit dalam matriks ferrit.	14
Gambar II.11. Besi tuang nodular perlitik, memperlihatkan spheroid grafit dalam matriks perlit.....	15
Gambar II.12. Muatan kutub pada magnet.	17
Gambar II.13. Arah gaya magnet.	17
Gambar II.14. Sketsa magnetograph menunjukkan muatan kutub dan kerapatan fluks.	18
Gambar II.15. Perpindahan arah gaya magnet pada 180o Block Wall.....	19
Gambar II.16. Konsep pengujian <i>Magnetic Particle Inspection</i>	20
Gambar II.17. Bentuk gelombang arus AC.	22
Gambar II.18. Gelombang AC-HWDC.....	22
Gambar II.19. Bentuk gelombang arus DC.	22
Gambar II.20. Sensivitas dari AC, DC, dan HWDC.	23
Gambar II.21. Medan magnet yang dihasilkan oleh Yoke.....	24
Gambar II.22. Indikasi pada retak permukaan.	26
Gambar II.23. Indikasi nonrelevan pada pengujian magnetik partikel.....	26
Gambar II.24. Proses SMAW.....	27
Gambar II.25. Persyaratan komposisi kimia pada elektroda untuk SMAW dan FCAW.	28
Gambar III.1. Diagram alir pengerjaan tugas akhir.....	33
Gambar III.2. Diagram alir pengerjaan tugas akhir (lanjutan).	34
Gambar III.3. Desain spesimen uji tarik.....	35
Gambar III.4. Material setelah dilakukan pemotongan.	36
Gambar III.5. Pembentukan spesimen dengan menggunakan mesin bubut.	36
Gambar III.6. Dimensi Spesimen uji.....	40
Gambar III.7. Kedalaman alur yang dibentuk.	40
Gambar III.8. Spesimen uji sebelum pengelasan.	41
Gambar III.9. Perataan material dengan menggunakan mesin scrap.	42
Gambar III.10. Proses pembuatan alur.	42
Gambar III.11. Proses <i>preheat</i> pada material pertama.	43
Gambar III.12. Pengukuran suhu material pertama.....	43

Gambar III.13. Elektroda CI-A1 AWS A5.15 E Ni-CI	44
Gambar III.14. Pengelasan dengan metode SMAW dan ampeere sebesar 150-200.	44
Gambar III.15. Proses <i>preheat</i> pada material kedua.	45
Gambar III.16. Pengukuran suhu material kedua.	45
Gambar III.17. Elektroda NIKKO STEEL AWS A5.1 E 7016.....	46
Gambar III.18. Pengelasan dengan metode SMAW dan ampere sebesar 80-100.....	46
Gambar III.19. Pemanasan elektroda menggunakan oven.	47
Gambar III.20. Penyimpanan elektroda dengan menggunakan <i>portable oven</i>	47
Gambar III.21. Pembersihan permukaan dengan menggunakan <i>cleaner</i>	48
Gambar III.22. Intensitas cahaya diukur dengan Lux meter.	49
Gambar III.23. penyemprotan <i>white contrast paint</i> pada material.	49
Gambar III.24. jarak <i>overlap</i> medan magnet yang dibentuk oleh <i>yoke</i>	50
Gambar III.25. Terdapat adanya indikasi setelah dilakukan pengamatan.	50
Gambar III.26. Gauss meter digunakan untuk mengukur medan magnet sisa.	51
Gambar III.27. tahap grade <i>polishing</i> yaitu, grade 80, 240, 400, 500, 600, 800, 1000, 1500, 2000.	52
Gambar III.28. Potongan specimen untuk foto mikro pada material 1 setelah dipoles grade 2000.	53
Gambar III.29. Potongan specimen untuk foto mikro pada material 2 setelah dipoles grade 2000.	53
Gambar IV.1. Hasil pengujian pada material 1 (satu).	56
Gambar IV.2. Sketsa hasil pengujian pada material 1 (satu).....	56
Gambar IV.3. Indikasi pada nomor 3 hasil pengujian magnetik partikel pada material 1 (satu).	57
Gambar IV.4. Indikasi pada nomor 4 hasil pengujian magnetik partikel pada material 1 (satu).	57
Gambar IV.5. Indikasi pada nomor 5 hasil pengujian magnetik partikel pada material 1 (satu).	57
Gambar IV.6. Hasil pengujian magnetik partikel pada material 2	59
Gambar IV.7. Sketsa hasil pengujian magnetik partikel pada material 2.....	59
Gambar IV.8. Indikasi pada nomor 2 hasil pengujian magnetik partikel pada material 2 (dua).	60
Gambar IV.9. Indikasi pada nomor 3 hasil pengujian magnetik partikel pada material 2 (dua).	60
Gambar IV.10. Indikasi pada nomor 4 hasil pengujian magnetik partikel pada material 2 (dua).	61
Gambar IV.11. Indikasi pada nomor 5 hasil pengujian magnetik partikel pada material 2 (dua).	61
Gambar IV.12. Indikasi pada nomor 6 hasil pengujian magnetik partikel pada material 2 (dua).	62
Gambar IV.13. Indikasi pada nomor 7 hasil pengujian magnetik partikel pada material 2 (dua).	62
Gambar IV.14. Struktur mikro <i>base metal</i> 100x.	64
Gambar IV.15. Struktur mikro <i>base metal</i> 100x.	64
Gambar IV.16. Sketsa letak posisi foto mikro pada <i>base metal</i>	65
Gambar IV.17. Struktur mikro <i>base metal</i> pada titik no.1 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).	65
Gambar IV.18. Struktur mikro <i>base metal</i> pada titik no.2 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).	65

Gambar IV.19. Struktur mikro <i>base metal</i> pada titik no.3 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).	66
Gambar IV.20. Struktur mikro <i>base metal</i> pada titik no.4 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).	66
Gambar IV.21. Struktur mikro <i>base metal</i> pada titik no.5 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).	66
Gambar IV.22. Struktur mikro <i>base metal</i> pada titik no.6 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).	67
Gambar IV.23. Struktur mikro <i>base metal</i> pada titik no.7 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).	67
Gambar IV.24. Struktur mikro <i>base metal</i> pada titik no.8 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).	67
Gambar IV.25. Struktur mikro <i>base metal</i> pada titik no.9 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).	68
Gambar IV.26. Struktur mikro HAZ perbesaran 100x.	68
Gambar IV.27. Struktur mikro HAZ perbesaran 400x (kiri) dan 500x (kanan).	68
Gambar IV.28. Struktur mikro <i>weld metal</i> perbesaran 100x (kiri) dan 500x (kanan).	69
Gambar IV.29. Sketsa letak posisi foto mikro pada <i>fusion line</i> .	69
Gambar IV.30. Struktur mikro <i>fusion line</i> titik no.1 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).	70
Gambar IV.31. Struktur mikro <i>fusion line</i> titik no.2 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).	70
Gambar IV.32. Struktur mikro <i>fusion line</i> titik no.3 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).	70
Gambar IV.33. Sketsa letak posisi foto mikro pada <i>base metal</i> .	71
Gambar IV.34. Struktur mikro <i>base metal</i> pada titik no.1 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).	71
Gambar IV.35. Struktur mikro <i>base metal</i> pada titik no.2 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).	72
Gambar IV.36. Struktur mikro <i>base metal</i> pada titik no.3 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).	72
Gambar IV.37. Struktur mikro <i>base metal</i> pada titik no.4 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).	72
Gambar IV.38. Struktur mikro <i>base metal</i> pada titik no.5 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).	73
Gambar IV.39. Struktur mikro <i>base metal</i> pada titik no.6 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).	73
Gambar IV.40. Struktur mikro <i>base metal</i> pada titik no.7 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).	73
Gambar IV.41. Struktur mikro <i>base metal</i> pada titik no.8 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).	74
Gambar IV.42. Struktur mikro <i>base metal</i> pada titik no.9 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).	74
Gambar IV.43. Struktur mikro HAZ perbesaran 100x.	74
Gambar IV.44. Struktur mikro HAZ perbesaran 400x (kiri) dan 500x (kanan).	75
Gambar IV.45. Struktur mikro <i>weld metal</i> perbesaran 100x (kiri) dan 500x (kanan).	75
Gambar IV.46. Sketsa letak posisi foto mikro pada <i>fusion line</i> .	76
Gambar IV.47. Struktur mikro <i>fusion line</i> titik no.1 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).	76

Gambar IV.48. Struktur mikro <i>fusion line</i> titik no.2 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).	76
Gambar IV.49. Struktur mikro <i>fusion line</i> titik no.3 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).	77

DAFTAR TABEL

Tabel III.1. Parameter pengelasan pada material 1 (ENiCl).	39
Tabel III.2. Parameter pengelasan pada material 2 (E7016).	39
Tabel IV.1. Hasil uji tarik.	55
Tabel IV.2. Keterangan hasil pengujian magnetik partikel pada material 1 (ENiCl).	58
Tabel IV.3. Keterangan hasil pengujian magnetik partikel pada material 2 (E7016).	63

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Penggunaan *Cast Iron* di dunia industri terus berkembang, termasuk di dunia industri perkapalan. *Cast Iron* digunakan dalam beberapa komponen pada kapal seperti pompa-pompa pada kapal. Karena metode pembuatan dengan cara pencetakan maka hasil pencetakan *Cast Iron* dapat ditemui pada komponen komponen yang ada di dunia industri, termasuk industri perkapalan. Tujuan dari penggunaan *cast iron* sebagai bahan utama pembuatan komponen kapal adalah untuk mempermudah produksi komponen kapal yang memiliki lekukan yang sulit.

Dalam produk *cast iron* dapat memiliki kerusakan seperti *crack* sehingga untuk memperbaiki kerusakan tersebut dilakukan pengelasan *build up*. Pada *cast iron* terdapat perbedaan besar butir yang dapat memungkinkan adanya indikasi ketika dilakukan pengujian magnetik partikel. Dalam pembahasan ini akan membahas mengenai adanya indikasi yang sering terjadi pada *cast iron* yang dilakukan pengelasan *build up* jika dilakukan pengujian magnetik partikel. Namun jika dilakukan pengujian *liquid penetrant* tidak ditemukannya indikasi yang ditolak (*rejected*). Pada prinsipnya metode *magnetic particle inspection (MPI)* adalah metode dengan bantuan medan magnet dan serbuk besi. Metode ini bisa digunakan untuk mengetahui cacat yang terdapat di permukaan sebuah benda kerja, cacat bisa berupa retakan, patahan, dan lubang. Pada penelitian sebelumnya telah disimpulkan bahwa pembacaan dengan menggunakan metode *magnetic particle inspection (MPI)* lebih baik jika menggunakan magnet permanen. Namun penelitian tersebut hanya dibatasi dengan menggunakan *visible wet method*.

Dalam penelitian ini, penulis akan menganalisa pengaruh pengelasan *build up* pada produk *casting* komponen kapal terhadap timbulnya indikasi pada pengujian magnetik partikel ditinjau dari sisi metalurgi.

I.2. Perumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dikaji dalam tugas akhir ini adalah apa penyebab dari ditemukannya indikasi pada *cast iron* yang telah dilakukan pengelasan *build up* pada metode pengujian magnetik partikel namun pada metode pengujian *liquid penetrant* tidak ditemukan adanya indikasi.

I.3. Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- Mengetahui penyebab timbulnya indikasi non relevant pada saat dilakukan *magnetic particle testing*.
- Menganalisis pengaruh pengelasan *build up* terhadap timbulnya indikasi non relevant yang terjadi.

I.4. Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah yang ada dalam penelitian ini adalah

- Material yang digunakan adalah *cast iron* dengan ukuran 200 x 150 x 40 mm sebanyak 2 (dua) buah.
- Elektroda yang digunakan E7016 dan ENi-CI.
- Pengelasan menggunakan proses *shielded metal arc welding (SMAW)*.
- Pembuatan alur pada material dengan kedalaman 8mm.
- Metode pengujian menggunakan *magnetic particle testing*.
- Metode pengujian foto mikro.

I.5. Manfaat

Dengan adanya tugas akhir ini, diharapkan hasil dari tugas akhir ini dapat berguna sebagai referensi dalam mengetahui penyebab ditemukannya indikasi non relevant pada pengelasan *build up* pada produk *casting* dengan metode *magnetic particle testing*.

I.6. Hipotesis

Dugaan awal dari tugas akhir ini adalah adanya perbedaan besar butir pada pengelasan *build up* yang berpengaruh terhadap timbulnya indikasi non relevant dengan menggunakan metode *magnetic particle testing*.

BAB II

STUDI LITERATUR

II.1. Dasar Teori

Cast iron seperti halnya baja, pada dasarnya adalah paduan besi-karbon, dengan kadar karbon yang lebih tinggi, biasanya antara 2.5-4.0 % C. Keuletannya rendah, tidak dapat ditempa, diroll, dll. Satu-satunya cara pembuatannya adalah penuangan, karena itu dinamakan besi tuang (*cast iron*). [Callister, 2006]

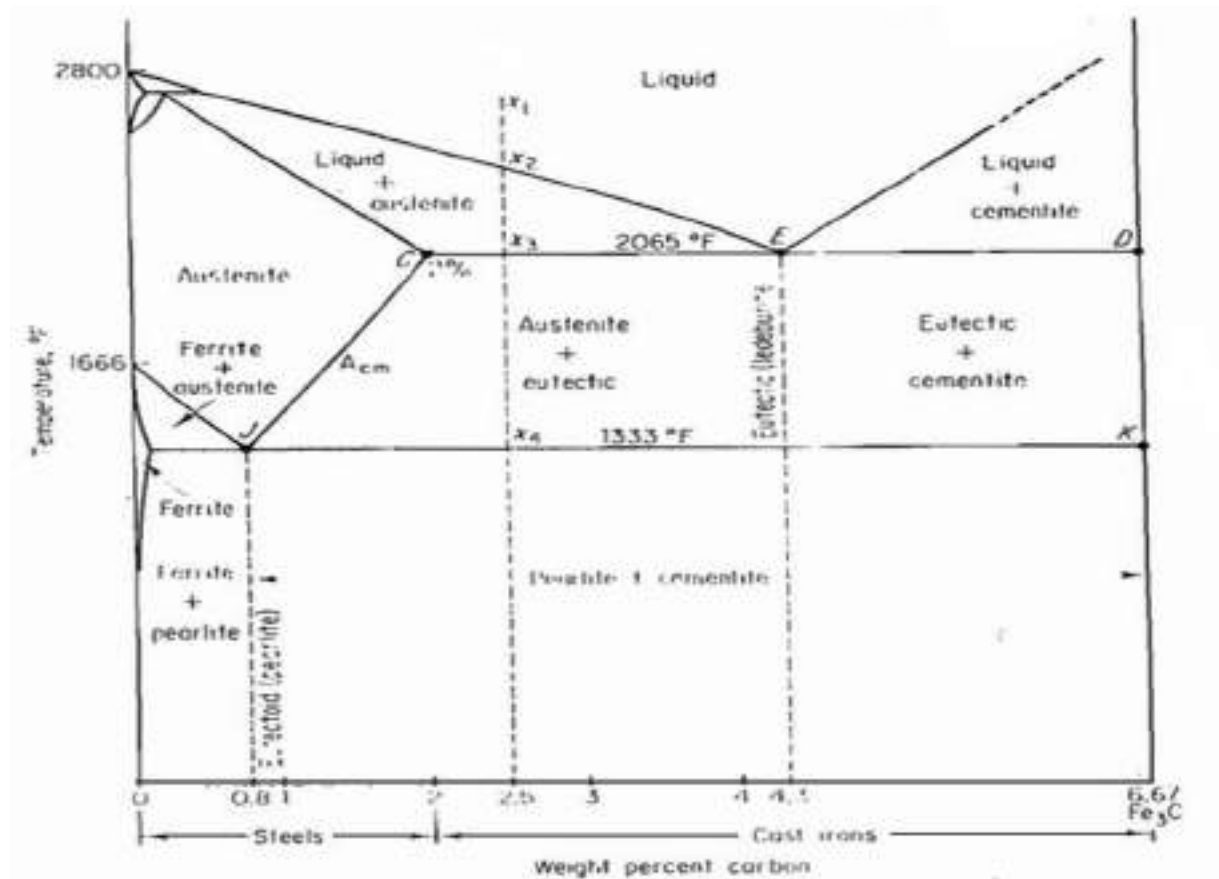
Pengecoran adalah proses fabrikasi dimana logam cair dituangkan ke dalam cetakan yang sudah memiliki bentuk yang diinginkan. Teknik pengecoran digunakan ketika bentuk yang diinginkan besar atau rumit, paduan memiliki tingkat keuletan yang rendah dan sangat sulit untuk dikerjakan pada pengerjaan panas maupun dingin. Teknik pengecoran ada bermacam-macam, yaitu *sand casting*, *die casting*, *investment casting*, *lost of foam casting*, *contious casting*. [Callister, 2006]

Cast iron dikelompokkan menjadi :

1. Besi tuang putih (*white cast iron*)
2. Besi tuang mampu tempa (*malleable cast iron*)
3. Besi tuang kelabu (*grey cast iron*)
4. Besi tuang nodular (*nodular cast iron*)

II.1.1. Besi tuang putih (*white cast iron*)

Semua besi tuang putih yang diproduksi adalah baja *hypoeutektik*. Suatu paduan dengan 2.5% C, pada temperatur x_1 berupa cairan, dan mulai membeku pada x_2 , membentuk kristal austenit. Dengan penurunan temperatur maka makin banyak austenit yang terbentuk dan komposisinya semakin kaya karbon. [Avner, 1987]

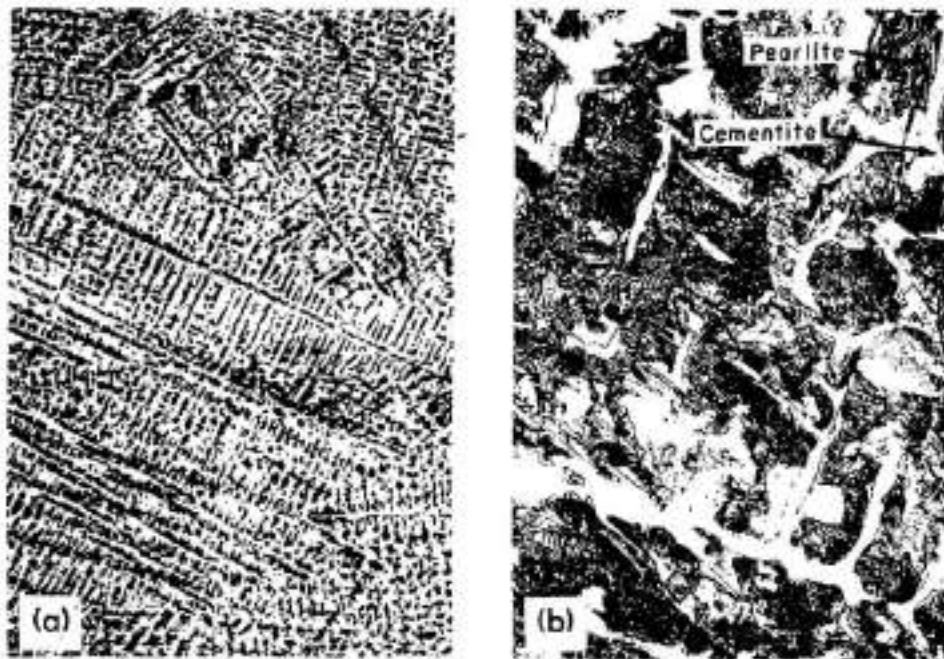


Gambar II.1. Diagram fase metastabil besi – karbida besi
 Sumber : Avner, 1987

Pada temperatur x_3 sudah banyak austenit yang terbentuk, komposisi eutektik (4.3% C), sehingga sisa cairan akan membeku sebagai eutektik, yang dinamakan *ledeburite* yang terdiri dari austenit dan sementit. Karena reaksi ini terjadi pada temperatur tinggi maka seringkali dijumpai *ledeburite* ini kasar, bahkan seringkali austenit yang seharusnya terdapat di dalam *ledeburite* bergabung pada dendrit austenit primer dan meninggalkan sementit yang akhirnya membentuk lapisan yang massif di sela austenit primer, sementit bebas. [Avner, 1987]

Pada titik x_4 kepadatan karbon pada austenit berkurang, sehingga komposisi austenit mencapai komposisi eutektoid (0.8%C), dan austenit bertransformasi menjadi eutektoid (perlite). Sehingga stuktur akhir terdiri dari dendrit austenit yang dikelilingi oleh lapisan sementit. [Avner, 1987]

Sementit adalah struktur yang sangat keras dan getas. Besi tuang putih mengandung sementit dalam jumlah besar yang membuatnya menjadi keras dan tahan aus. Besi tuang putih sangat sulit dimachining. Oleh karena itu besi tuang putih jarang dipergunakan, biasanya besi tuang putih digunakan untuk bahan dasar pembuatan besi tuang mampu tempa. [Avner, 1987]



Gambar II.2. Struktur mikro besi tuang putih (a) area gelap adalah dendrit primer dari austenit yang bertransformasi (perlit) yang dikelilingi jaringan sementit (putih), 20x, (b) struktur mikro pada perbesaran 250x menunjukkan perlit (gelap) dan sementit (putih).

Sumber : Avner, 1987

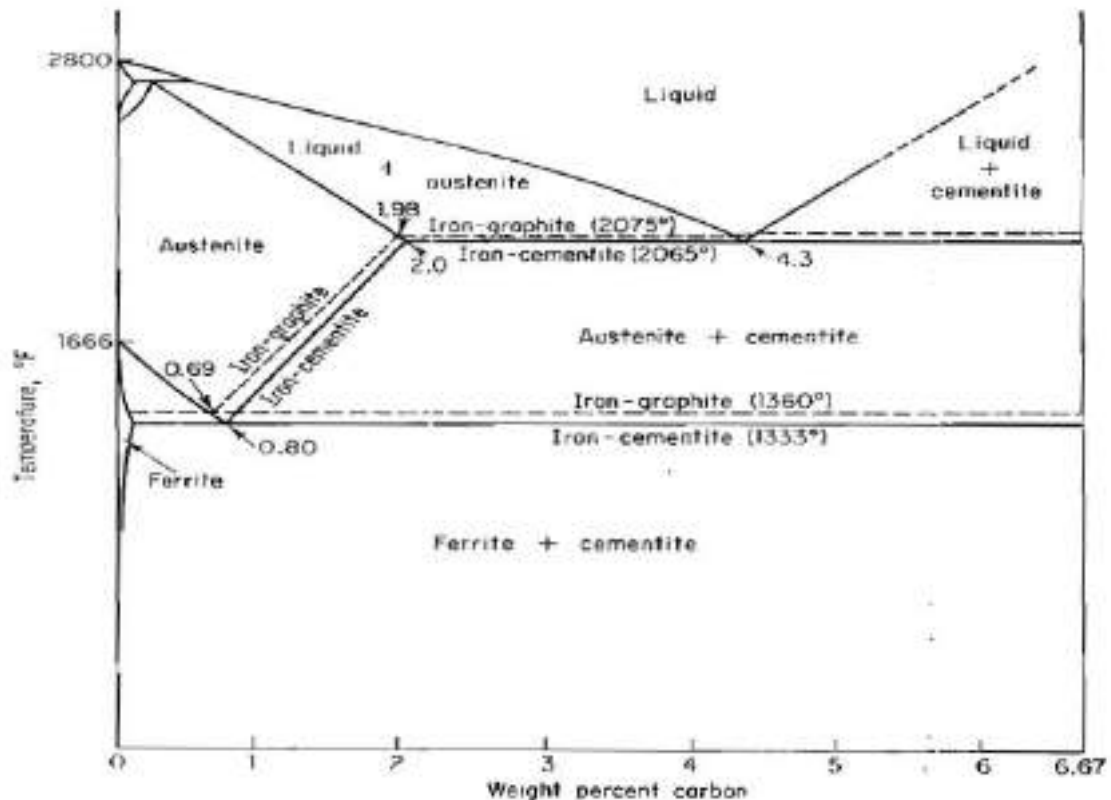
II.1.2. Besi tuang mampu tempa (*malleable cast iron*)

Besi tuang mampu tempa dibuat dari besi tuang putih dengan suatu proses yang dinamakan malleabelisasi. Tujuan malleabelisasi adalah untuk mengubah semua karbon yang sudah tergabung dalam besi tuang putih menjadi temper karbon (grafit) dan ferrit. Proses ini dilakukan dalam dua tahapan annealing, annealing tahap pertama dan annealing tahap kedua. [Avner, 1987]

Pada annealing tahap pertama, besi tuang putih dipanaskan sampai suhu antara 898.89°C – 954.44°C . Selama pemanasan, perlit berubah menjadi austenit dan austenit akan melarutkan beberapa sementit. Gambar II-3 menunjukkan bahwa austenit pada sistem stabil mempunyai kemampuan melarutkan karbon lebih rendah daripada austenit pada sistem metastabil. Oleh karena itu, karbon yang ada didalam austenit akan terdorong keluar sebagai grafit bebas. Grafitisasi ini terjadi pada suhu malleabelisasi, kemudian inti grafit keluar dari austenit. Pada akhirnya akan terbentuk nodule atau spheroid yang tak beraturan, yang dinamakan temper carbon. [Avner, 1987]

Suhu annealing disesuaikan untuk memaksimalkan tingkat annealing dan meminimalkan distorsi. Besi tuang putih didiamkan pada suhu annealing tahap pertama sampai

semua karbida masif telah terdekomposisi. Struktur pada akhir tahap annealing pertama terdiri dari tempur karbon berbentuk nodule yang tersebar ke seluruh matriks austenit jenuh. [Avner, 1987]



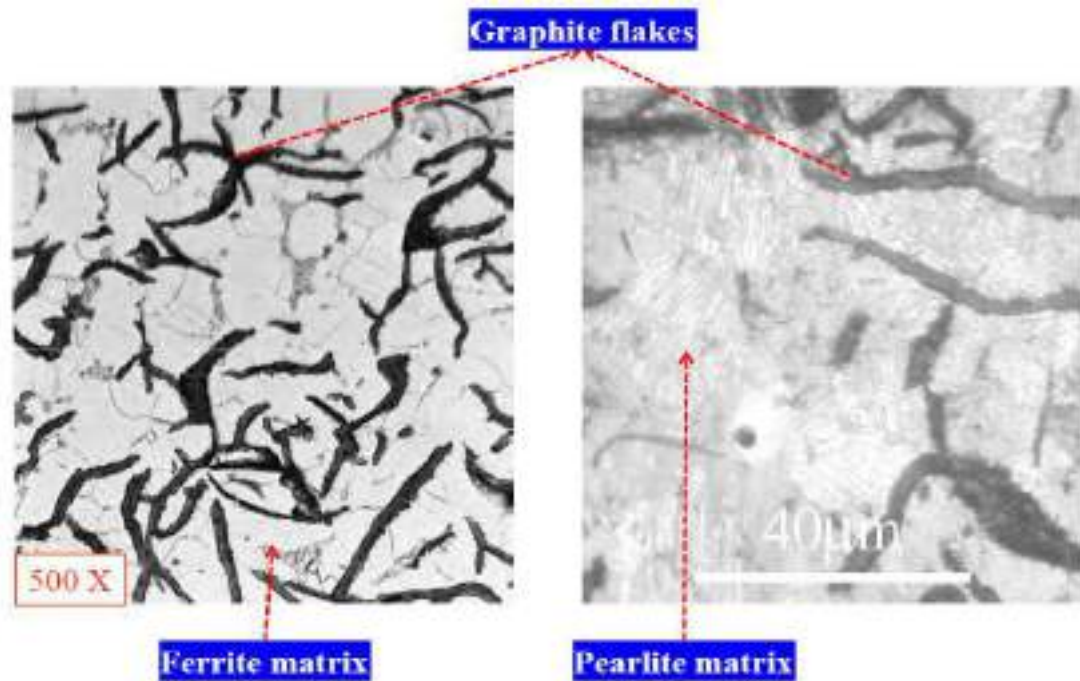
Gambar II.3. Diagram fasa *stable iron-graphite* (garis putus-putus) *superimposed* pada diagram *metastable iron-iron carbide*.

Sumber : Avner, 1987

II.1.3. Besi tuang kelabu (*grey cast iron*)

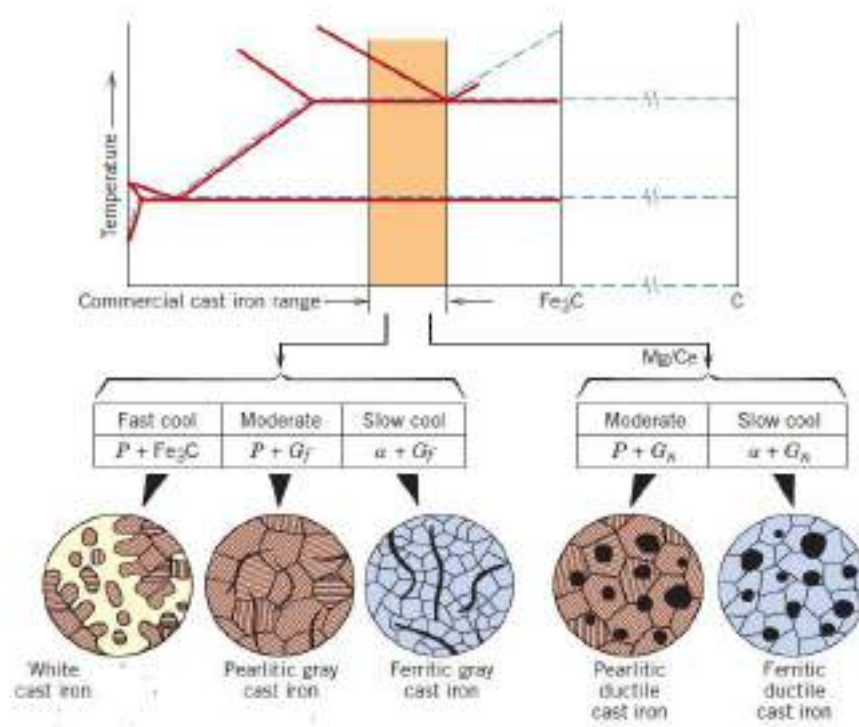
Besi tuang kelabu adalah besi tuang yang paling banyak digunakan. Grafit pada besi tuang kelabu terbentuk pada saat proses pembekuan. Proses grafitisasi ini didorong oleh tingginya kadar karbon, temperatur penuangan tinggi dan pendinginan lambat. Grafit besi tuang kelabu berbentuk serpih (*flake*), biasanya dikelilingi ferit atau perlit. [Callister, 2006]

Banyaknya grafit dalam besi tuang ini menyebabkan penampang patahannya tampak kelabu. Dilihat dari mikrostrukturnya, ujung-ujung dari lempengan grafit ini mengecil/runcing, dapat dianggap sebagai ujung takikan, menyebabkan ketangguhan besi tuang ini rendah yang merupakan sifat mekanis dari besi tuang kelabu. [Callister, 2006]



Gambar II.4. Struktur mikro besi tuang kelabu dengan pembesaran 500x
Sumber : Callister, 2007

Pada besi tuang ini biasanya terdapat unsur-unsur lain selain besi dan karbon. Adanya unsur-unsur ini akan mempengaruhi struktur yang akan terjadi pada saat pembekuan sehingga juga akan mempengaruhi sifat besi tuang. Mikrostruktur dapat diperoleh dengan memvariabelkan komposisi dan perlakuan panas. [Callister, 2007]



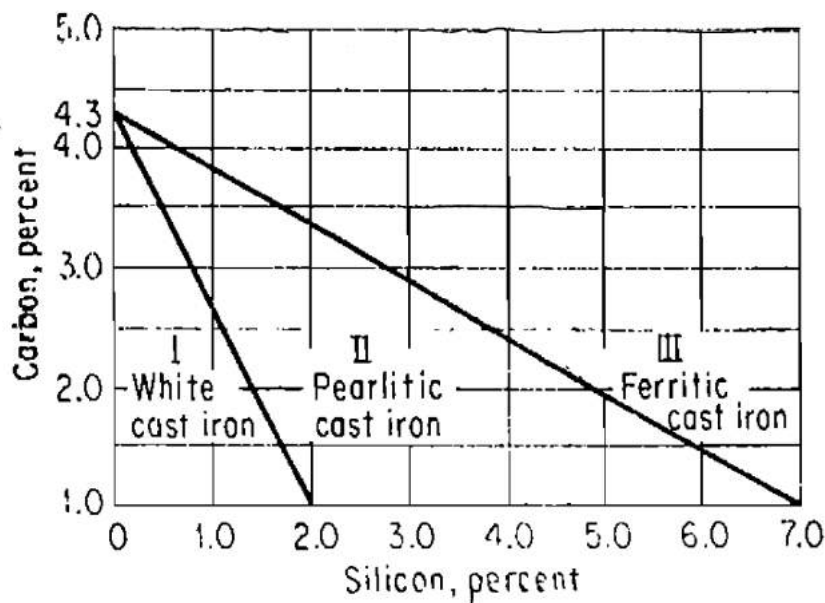
Gambar II.5. Struktur mikro dan fase yang terjadi pada berbagai temperatur
 Sumber : Callister, 2007

II.1.3.1. Pengaruh unsur lain terhadap besi tuang

Pada besi tuang biasanya terdapat unsur-unsur lain selain besi dan karbon. Adanya unsur-unsur ini akan mempengaruhi struktur yang akan terjadi pada saat pembekuan, sehingga juga akan mempengaruhi sifat besi tuang. Unsur-unsur tersebut antara lain. [Callister, 2006]

a. Silikon

Silikon merupakan unsur yang sangat penting dalam pembuatan besi tuang. Silikon menaikkan fluidity dari cairan besi sehingga mudah dituang kedalam cetakan yang tipis dan rumit. Silikon adalah unsur yang mendorong pembentukan grafit pada besi tuang. Selama pembekuan, dengan adanya silikon, karbon akan membeku sebagai grafit yang berbentuk flake. Pada sistem stabil dari besi-karbon pada pembekuan seharusnya terjadi eutektik yang terdiri dari austenit dan grafit, tetapi karena reaksi ini terjadi pada temperatur tinggi maka terjadi pemisahan, austenit dari eutektik bergabung dengan austenit primer sehingga meninggalkan grafit massif pada batas butir dendrit. [Callister, 2007]



Gambar II.6. Pengaruh kadar silikon terhadap struktur matriks besi tuang kelabu
Sumber : Avner, 1987

b. Sulfur

Dalam hal mempengaruhi grafitisasi, sulfur berlawanan dengan silikon, sulfur akan mendorong terbentuknya karbida. Dalam jumlah yang cukup besar sulfur akan menyebabkan besi tuang menjadi besi tuang putih yang keras dan getas. Kadar sulfur yang tinggi akan mengurangi fluidity dan ada kemungkinan terjadi keropos pada benda tuangan. Besi tuang kelabu biasanya mengandung 0.06 – 0.12 % sulfur. [Callister, 2007]

c. Mangan

Mangan mendorong pembentukan karbida, tetapi tidak sekuat sulfur. Kelebihan mangan tidak berpengaruh banyak terhadap grafitisasi primer, tetapi akan mendorong pembentukan karbida pada eutektoid (perlit). Adanya mangan yang mendorong pembentukan perlit pada matriks, sehingga juga akan memperkuat matriks. [Callister, 2007]

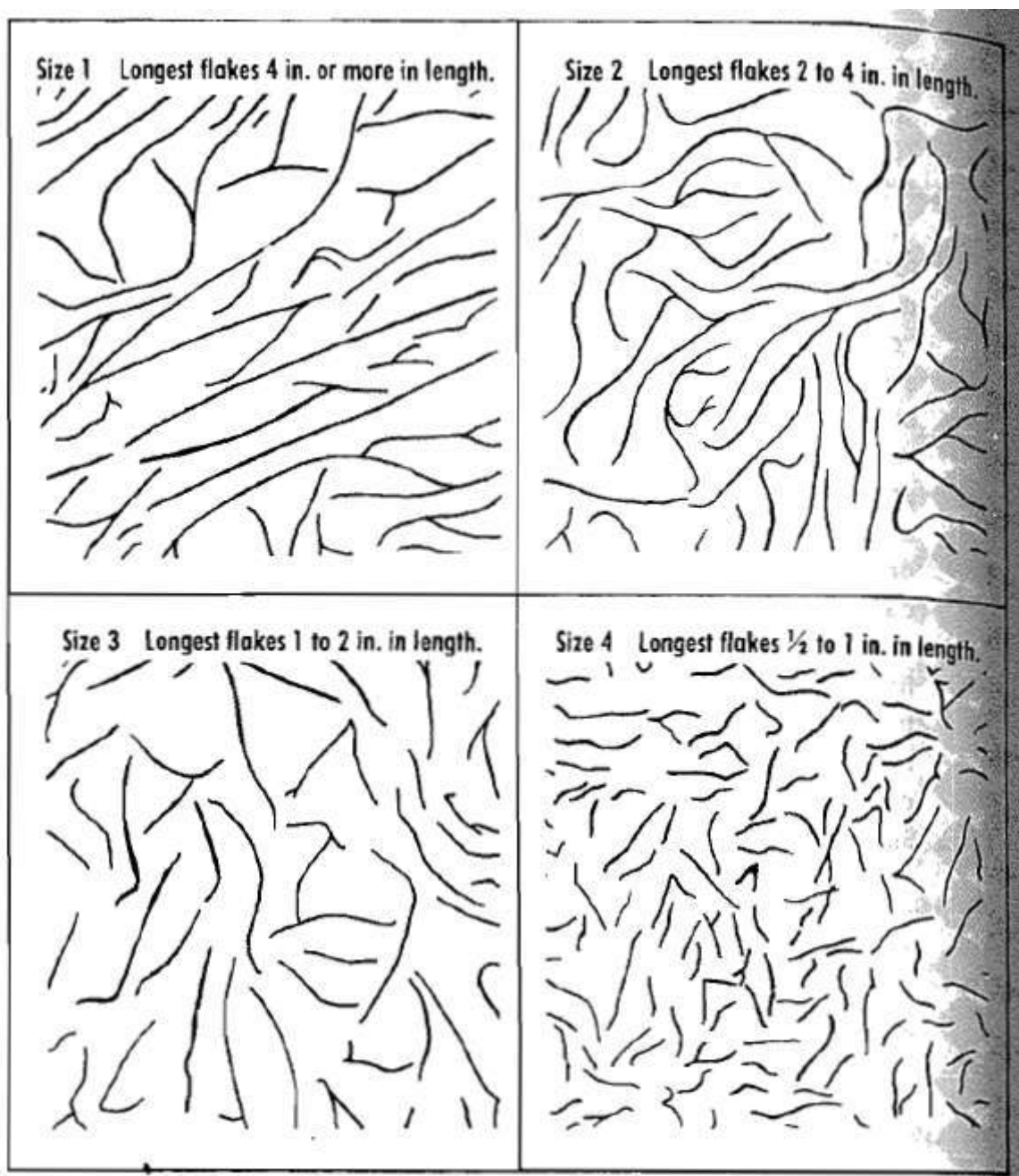
d. Phosporus

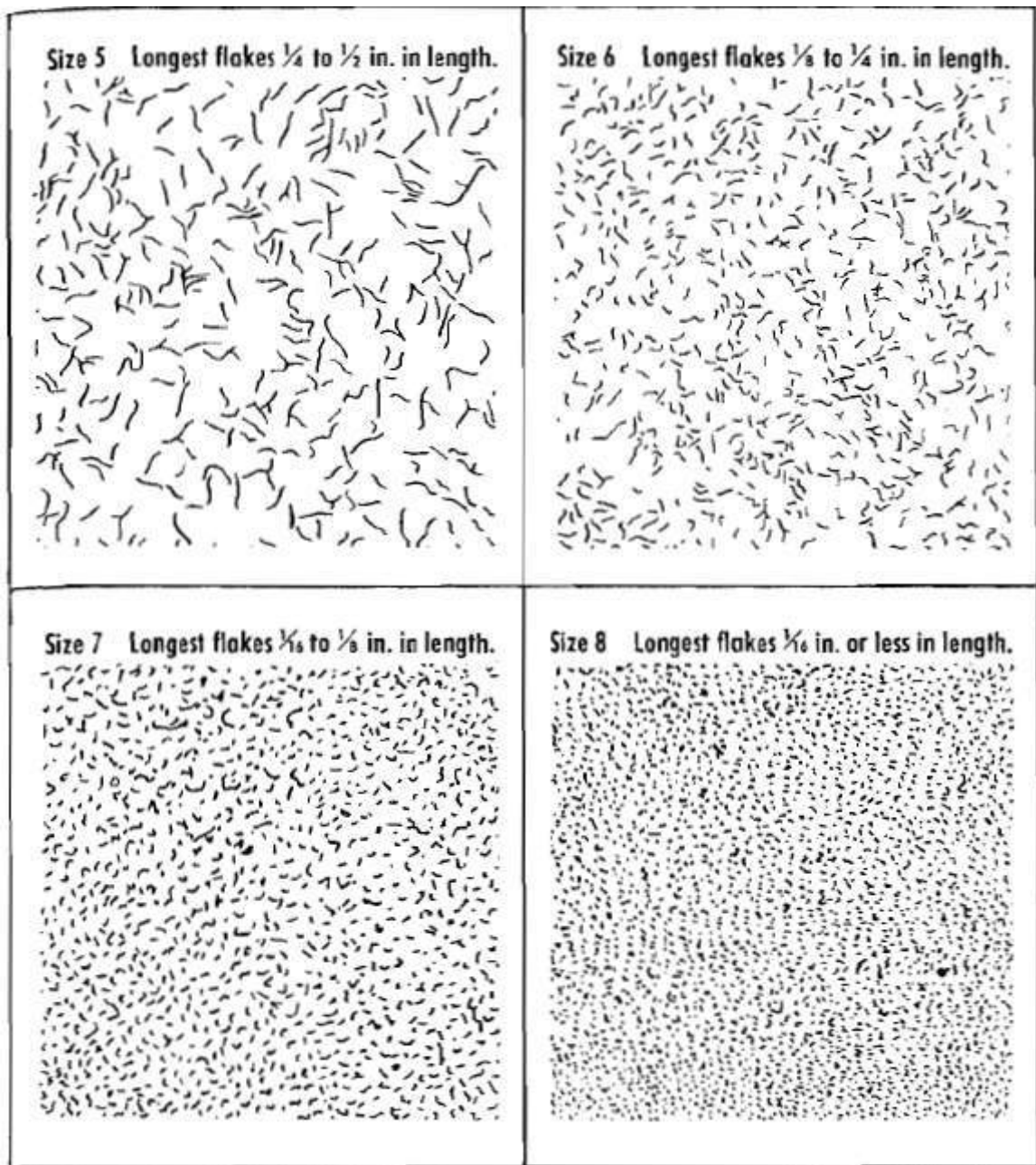
Phospor akan membentuk phosphida Fe-P yang akan membentuk eutektik terner bersama sementit dan austenit (perlit) yang dinamakan steadite. Steadite ini getas dan dengan kadar phosphor yang tinggi steadite akan membentuk jaringan yang kontinyu yang membungkus dendrit austenit primer (yang kemudian akan bertransformasi menjadi perlit). Keadaan ini akan mengurangi ketangguhan yang menjadikan besi tuang getas. Karena itu kadar phosphor harus

dijaga dalam batas tertentu (0.1-0.9 %), agar dapat diperoleh sifat mekanik yang optimum. [Avner, 1987]

II.1.3.2. Ukuran dan distribusi dari grafit *flake*

Grafit *flake* dengan ukuran yang besar akan memutus kontinuitas matriks yang akan menurunkan kekuatan dan keuletan besi tuang kelabu. Standard ukuran grafit *flake* ditetapkan oleh AFS (*American Foundrymen's Society*) dan ASTM (*American Society for Testing Material*). Proses pendinginan berpengaruh pada pembentukan struktur grafit pada besi tuang kelabu. [Avner, 1987]

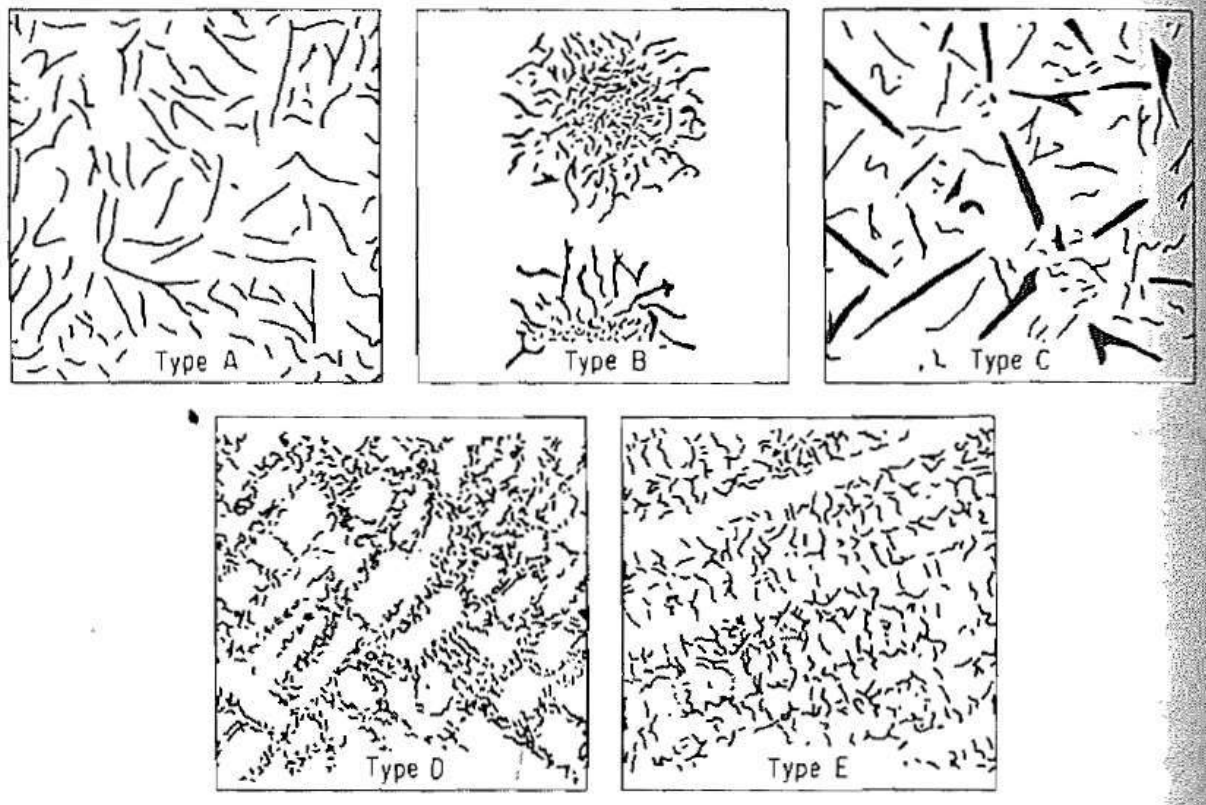




Gambar II.7. Chart ukuran grafit flake oleh ASTM dan AFS.

Sumber : Avner, 1987

Penyebaran grafit flake dalam struktur mikro besi tuang kelabu dapat memiliki 1 (satu) tipe struktur atau lebih pada setiap besi tuang kelabu. Terdapat 5 (lima) tipe penyebaran grafit flake pada besi tuang kelabu yang ditentukan oleh AFS dan ASTM. [Avner, 1987]



Gambar II.8. Macam-macam tipe penyebaran grafit flake.

Sumber : Avner, 1987

Tipe-A : *uniform distribution, random orientation*. Distribusi grafit tipe-A ini terjadi karena struktur eutektik yang terpisah secara sempurna. Ukuran dari flake tergantung pada ukuran kristal austenit disekitar flake terbentuk. [Avner, 1987]

Tipe-B : *rossete grouping, random orientation*. Grafit tipe-B ini biasanya terjadi pada daerah yang laju pendinginannya tinggi. Struktur pada grafit tipe-B ini adalah campuran antara struktur besi tuang putih dan struktur besi tuang kelabu. Pada daerah grafit tipe-B laju pendinginan maksimum, tetapi masih dapat untuk terjadinya proses pembentukan grafit. [Avner, 1987]

Tipe-C : *superimosed flake size, random orientation*. Pada grafit tipe-C terdapat beberapa flake yang panjang seperti pada gambar II.8. yang menunjukkan besi tuang kelabu tipe ini adalah *hypereutectoid grey cast iron*. Pada tipe-C terdapat Silikon dan unsur yang dapat mengurangi kadar karbon pada eutektik. Bila unsur tersebut cukup banyak maka kadar karbon pada eutektik dapat dibawah 3,5%. [Avner, 1987]

Tipe-D : *interdendritic segregation, random orientation*. Grafit tipe-D ini biasanya merupakan hasil dari grafitisasi pada struktur eutektik yang normal. Bentuk ini muncul pada

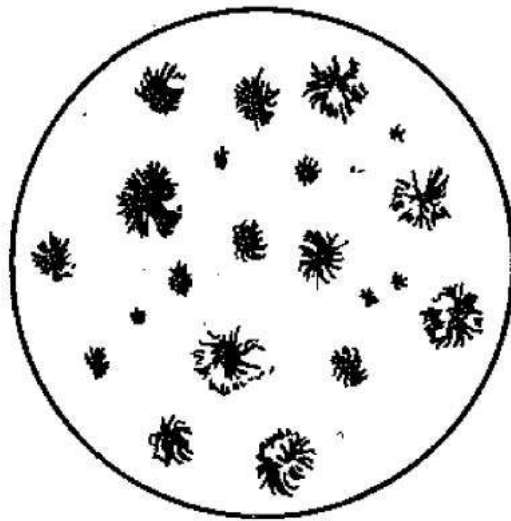
besi dengan kemurnian yang tinggi atau pada besi tuang yang laju pendinginannya tinggi. Pola interdendritik dan tingginya kadar grafit akan melemahkan besi tuang walaupun ukuran grafitnya kecil. Grafit tipe-D ini merupakan struktur yang tidak diinginkan pada besi tuang. Untuk menghindari terjadinya grafit tipe-D ini dengan cara memperlambat laju pendinginannya. [Avner, 1987]

Tipe-E : *interdendritic segregation. Preferred orientation*. Grafit tipe-E ini sama seperti dengan grafit tipe-D yang merupakan bentuk grafit yang tidak diinginkan. Grafit tipe-E ini terjadi karena laju pendinginan yang tinggi dan dapat dihindari dengan memperlambat laju pendinginan. [Avner, 1987]

II.1.4. Besi tuang nodular (*nodular cast iron*)

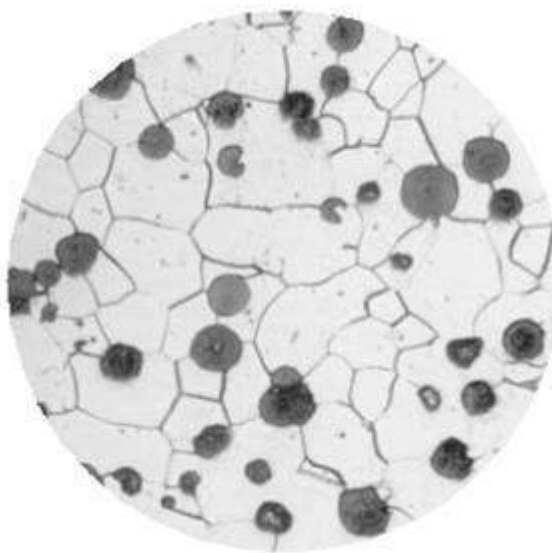
Nodular cast iron biasa dikenal dengan nama *ductile iron*, *spheroidal graphite iron (SG Iron)*, atau *spherulitic iron*. Besi tuang nodular ini memiliki grafit yang berbentuk bola-bola kecil (*spheroid*). Karena grafitnya berbentuk bola-bola padat, maka kekuatan dan ketangguhannya lebih tinggi daripada besi tuang kelabu yang memiliki grafit berbentuk *flake*. [Avner, 1987]

Kandungan karbon total dari besi tuang nodular sama seperti besi tuang kelabu. Grafit yang berbentuk spheroid ini terbentuk ketika proses pembekuan terjadi karena adanya sejumlah kecil unsur paduan tertentu. Penambahan unsur pada pembentukan nodule biasanya magnesium atau cerium, dimasukkan kedalam cairan besi pada ladle sesaat sebelum penuangan. Unsur-unsur ini memiliki afinitas yang kuat terhadap sulfur. Kandungan sulfur pada cairan besi harus dibawah 15% dan perlu didesulfurisasi untuk mendapatkan grafit nodular yang baik. [Avner, 1987]



Gambar II.9. Besi tuang nodular, memperlihatkan bentuk spheroid grafit yang bulat dan solid.
 Sumber : J.R. Davis, 1996

Struktur matriks pada *nodular cast iron* ini tergantung pada komposisi dan laju pendinginan. Besi tuang nodular dengan matriks yang terdiri dari ferrit dan sedikit perlit maksimal 10% dinamakan besi tuang nodular ferritik. Besi tuang ini memiliki keuletan, ketangguhan, dan machinability paling tinggi. [Avner, 1987]



Gambar II.10. Besi tuang nodular ferritik, memperlihatkan spheroid grafit dalam matriks ferrit.
 Sumber : John Campbell, 2011

Struktur matriks yang sebagian besar terdiri dari perlit dapat diperoleh langsung dari penuangan atau dengan *normalizing*. Temperatur untuk proses *normalizing* adalah $870^{\circ} - 900^{\circ}\text{C}$ dan pendinginannya dengan udara. Besi tuang nodular perlitik lebih kuat dari pada besi tuang ferritik, tetapi keuletannya lebih rendah. Struktur matriks martensitik dapat diperoleh dengan

melakukan pendinginan cepat (*quenching*) dari temperatur 870°-930°C. kemudian dilakukan tempering setelah pengerasan untuk mendapatkan tingkat kekuatan dan kekerasan yang diinginkan. [Avner, 1987]



Gambar II.11. Besi tuang nodular perlitik, memperlihatkan spheroid grafit dalam matriks perlit.
Sumber : John Campbell, 2011

II.2. *Magnetic particle inspection (MPI)*

Metode magnetik partikel yang merupakan pengujian tidak merusak adalah sebuah metode untuk menemukan diskontinuitas permukaan dan bawah permukaan (*sub-surface*) pada material feromagnetik. Tergantung pada penggunaannya dengan fakta bahwa saat bahan material atau suatu bagian yang diuji diberikan medan magnet, diskontinuitas yang terletak pada arah yang umumnya melintang terhadap arah dari medan magnet yang mengakibatkan medan bocoran (*leakage field*) terbentuk pada bagian atas permukaan bagian yang diuji. Kemunculan medan bocoran (*leakage field*) ini dideteksi menggunakan partikel yang halus dan diaplikasikan di atas permukaan material, beberapa partikel ini terkumpul dan ditahan oleh *leakage field* tersebut. [Betz, 2000]

Pengujian *magnetic particle inspection (MPI)* adalah pengujian tidak merusak (*NDT*) untuk mendeteksi diskontinuitas yang biasanya linier dan terletak pada/dekat dengan permukaan komponen dan struktur feromagnetik, *MPI* berdasarkan hukum magnetisasi oleh karena itu terbatas hanya pada material yang dapat mendukung garis *fluks*. Logam dapat diklasifikasikan sebagai feromagnetik, paramagnetik, dan diamagnetik, dimana :

- **Feromagnetik** adalah logam yang sangat tertarik pada magnet dan mudah di magnetisasi. Contohnya besi, nikel, dan kobalt.
- **Paramagnetik** seperti *stainless steel* austenitic sangat lemah tertarik oleh tarikan medan magnet dan tidak dapat dimagnetisasi.
- **Diamagnetik** adalah logam yang sangat sedikit ditolak oleh magnet dan tidak dapat dimagnetisasi. Contohnya bismut, emas dan antimon. [Thomas, 1989]

Kelebihan metode MPI

- a. Relatif cepat dalam proses pengujian.
- b. Ekonomis.
- c. Hasil dapat dilihat secara langsung.
- d. Operator dapat langsung dilatih secara cepat untuk mengoperasikan prosedur pengujian. [Lovejoy, 1993]

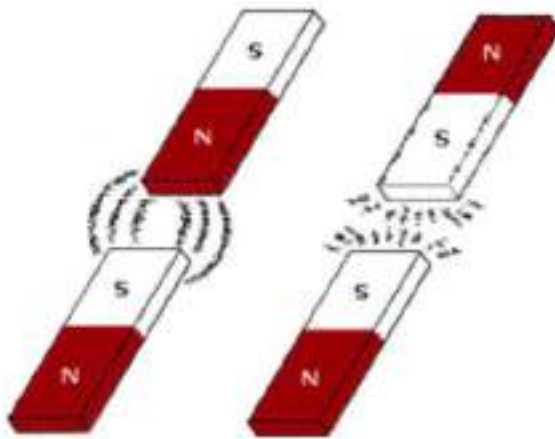
Kekurangan metode MPI

- a. Hanya dapat digunakan pada material feromagnetik.
- b. Efektif jika digunakan untuk pada cacat permukaan.
- c. Komponen harus selalu di *demagnetization* setelah sebelumnya di magnetisasi.
- d. Hasil dapat mudah dilihat, namun pencatatan hasil permanen tidak sama mudahnya. [Lovejoy, 1993]

II.2.1. Prinsip magnetisasi

- Muatan kutub.

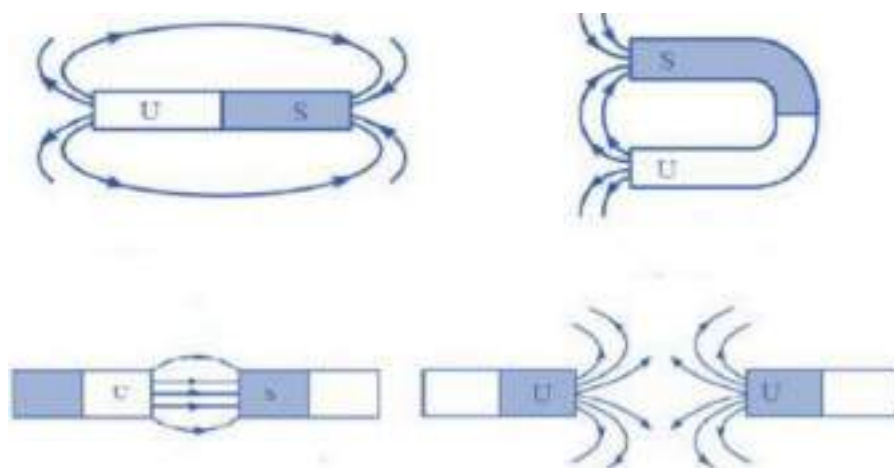
Ada banyak prinsip dasar magnetisasi yang dapat disimpulkan dengan pengamatan sederhana dari perilaku batang magnet dan interaksinya dengan bahan feromagnetik, termasuk atang magnet lainnya. Jika batang magnet digantung pada pusatnya, maka magnet tersebut akan menyesuaikan diri dengan medan magnet bumi sehingga salah satu ujung menunjuk ke utara geografis dan lainnya mengarah ke selatan. Jika hasil penunjukkan utara diidentifikasi, maka akan ditemukan bahwa ujung bagian selalu mengarah ke utara. Oleh konvensi, bagian ujung dari batang itu disebut "kutub pencarian utara" biasa disingkat sebagai "kutub utara" dan sisi yang lain disebut "kutub selatan". [Hellier, 2003]



Gambar II.12. Muatan kutub pada magnet.
Sumber : Hellier, 2003

- Gaya magnet.

Saat kutub utara dari sebuah batang magnet diletakkan berdekatan dengan bagian kutub selatan, akan terlihat bahwa mereka akan saling tarik menarik antara satu sama lain. Jika semakin berdekatan, maka akan semakin kuat gaya tarikannya. Sebaliknya, jika dua buah kutub utara dan kutub selatan diletakkan berdekatan maka akan saling bertolakan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa "kutub sama bertolakan, kutub berbeda saling tarik menarik". Fenomena magnetisasi dapat didefinisikan menjadi "sebuah gaya tarik menarik atau tolak menolak yang dimiliki terhadap yang lain, khususnya untuk jenis feromagnetik". [Hellier, 2003]



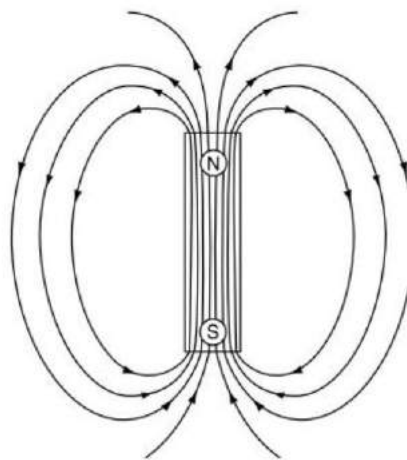
Gambar II.13. Arah gaya magnet.
Sumber : Hellier, 2003

- Medan magnetik.

Aliran magnetik mengarah dari kutub utara ke kutub selatannya melewati udara disekitar magnet dan agar menyelesaikan sirkuit magnetik, aliran akan bergerak dari kutub selatan ke kutub utara. [Hellier, 2003]

- Kerapatan *fluks*.

Aliran gaya magnetik disebut dengan "*magnetic flux*" gambar dari magnetograf tidak menunjukkan arah dari aliran fluks, namun bisa dilihat dari magnetograf bahwa area maksimum dari konsentrasi fluks (*flux density*) berada pada bagian kutub. Konsentrasi fluks didefinisikan sebagai "jumlah garis gaya per unit area". Unit area yang dimaksud adalah potongan yang diambil secara memanjang dari garis gaya. *Flux density* diukur dalam gauss atau tesla, tesla merupakan ukuran satuan dan *flux density* disimbolkan dengan " β " (beta). [Hellier, 2003]



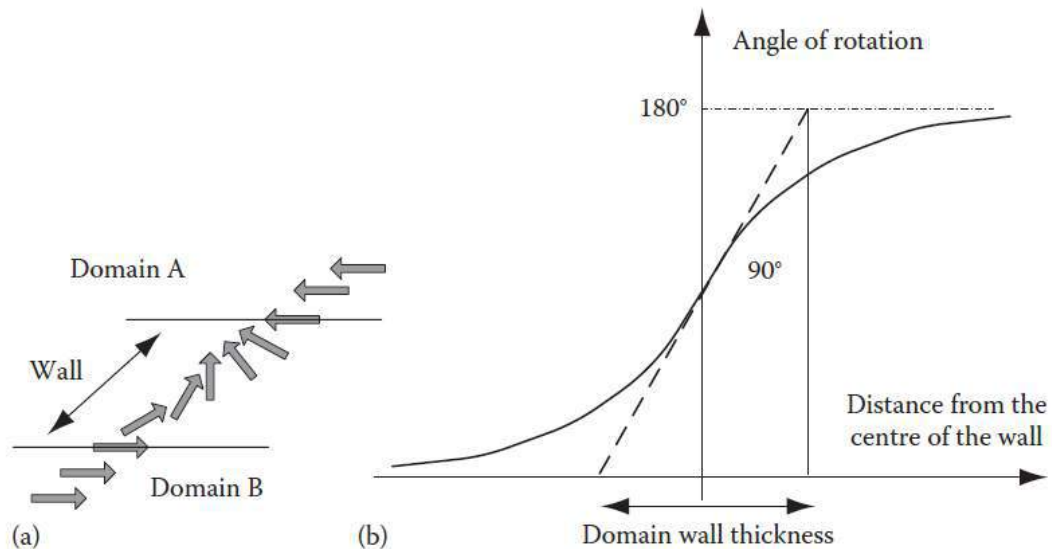
Gambar II.14. Sketsa magnetograph menunjukkan muatan kutub dan kerapatan fluks.

Sumber : Hellier, 2003

II.2.2. *Magnetic domain* dan *domain walls*

Domain feromagnetik telah diprediksi pada tahun 1907 oleh Weiss dengan penjelasan mengapa material feromagnetik dapat didemagnetisasi. Weiss berasumsi bahwa sebuah material terbagi menjadi daerah kecil yang disebut *domains*. Dalam keadaan magnetisasi, domain-domain ini didistribusikan sedemikian rupa sehingga tidak ada magnetisasi. Pada tahun 1935, Landau dan Lifshitz membuktikan secara matematis bahwa sebuah material terbagi menjadi domain-domain. [S. Tumanski, 2011]

Arah magnetisasi di antara dua domain dapat berubah secara bertahap pada jarak tertentu yang biasa disebut *domain walls*. [S. Tumanski, 2011]



Gambar II.15. Perpindahan arah gaya magnet pada 180o Block Wall.
Sumber : S. Tumanski, 2011.

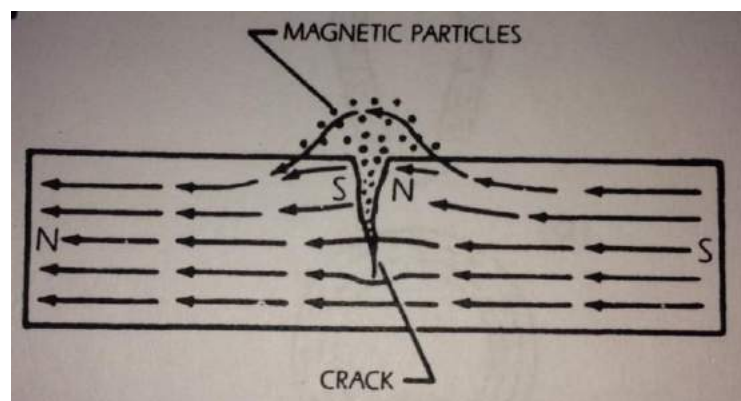
II.2.3. Prinsip pengujian

Secara teori, *magnetic particle inspection* (MPI) adalah konsep yang cukup sederhana. Bisa dikatakan merupakan kombinasi dari dua metode pengujian tidak merusak: *magnetic flux leakage testing* dan *visual testing*. Misalkan sebuah kasus batang magnet, yang memiliki medan magnet di dalam dan di sekitar magnet. Setiap tempat dimana garis gaya keluar atau masuk disebut kutub utara dan kutub dimana garis gaya masuk ke magnet disebut kutub selatan.

Saat batang magnet tersebut mengalami kerusakan pada bagian tengahnya, maka akan menghasilkan dua buah magnet yang sama dengan memiliki masing-masing kutub. Jika magnet tersebut hanya retak bukan terpisah secara keseluruhan pada bagian tengahnya, maka kutub utara dan kutub selatan akan terbentuk pada setiap ujung retak. Medan magnetik keluar dari kutub utara dan masuk kembali dari kutub selatan. Medan magnetik tersebar ketika bertemu dengan celah udara kecil yang terbentuk oleh retakan, sebab udara tidak dapat menahan medan magnetik per unit volume sebanyak medan magnet. [www.nde.org, 2015]

Magnetic flux leakage (kebocoran medan magnet) adalah tertariknya partikel-partikel pada material magnetik akibat adanya diskontinuitas sehingga akan membentuk garis-garis besar. Pada material magnetik akibat adanya diskontinuitas sehingga akan membentuk garis-

garis besar. Pada tempat-tempat dimana kebocoran medan magnet meninggalkan area benda, partikel-partikel besi akan tertarik ketempat tersebut dan merupakan indikasi adanya diskontinuitas pada daerah tersebut. Kebocoran medan magnet sebenarnya adalah garis-garis gaya magnet yang meninggalkan bagian magnet dan mengalir melalui udara dari satu kutub ke kutub lainnya yang berlawanan. Ide dasar uji magnetik partikel adalah untuk mengidentifikasi adanya diskontinuitas pada bahan feromagnetik. [Betz, 2000]



Gambar II.16. Konsep pengujian *Magnetic Particle Inspection*.
Sumber : NDT Handbook vol.6, 1989

Langkah pertama dalam pengujian partikel magnetik adalah memagnetisasi komponen yang akan diuji. Jika terdapat cacat di sekitar area permukaan, cacat tersebut akan membuat *leakage field*. Setelah komponen tersebut dimagnetisasi, partikel besi, baik itu berbentuk kering atau larutan basah, diaplikasikan pada permukaan benda yang dimagnetisasi. Partikel-partikel tersebut akan tertarik dan berkumpul pada *flux leakage fields*, sehingga akan membentuk suatu indikasi yang dapat di deteksi oleh inspektor. [Betz, 2000]

II.2.4. Magnet sisa dan demagnetisasi

Setelah bagian feromagnetik dimagnetisasi, mereka akan mempertahankan sejumlah sifat kemagnetan, hal ini dikenal sebagai "kemagnetan sisa". Besarnya magnet sisa ini tergantung pada sifat magnetik dari sebuah material, seperti komposisi *alloy*. Faktor penting lainnya adalah kekuatan, arah, dan tipe dari gaya magnetisasi yang digunakan, serta bentuk geometri dari benda. [Mix, 2005]

Leakage field dari sisa magnetisasi dapat menjadi sangat kuat jika telah dimagnetisasi secara longitudinal. Namun, bidang fluks yang bocor dapat dengan mudah dideteksi dan diukur dengan *hall-effect probe* dan DC *gaussmeter* atau menggunakan alat pengukur fluks lainnya.

Benda yang telah dimagnetisasi longitudinal lebih mudah untuk demagnetisasi daripada benda yang mengandung sisa dari bidang *circular* atau keliling. [Mix, 2005]

II.2.4.1. Yoke demagnetisasi

Proses demagnetisasi dengan menggunakan *yoke* dapat diaplikasikan baik dengan menggunakan arus AC dan arus DC. Aplikasi demagnetisasi dengan menggunakan *yoke* diperlukan terutama apabila tidak memungkinkan digunakan metode lainnya.

Pada beberapa kasus, metode demagnetisasi dengan *yoke* ini lebih efektif daripada menggunakan kumparan. Karena untuk material dengan gaya koersif yang tinggi dapat dimagnetisasi dengan lebih berkonsentrasi pada medannya. [betz,2000]

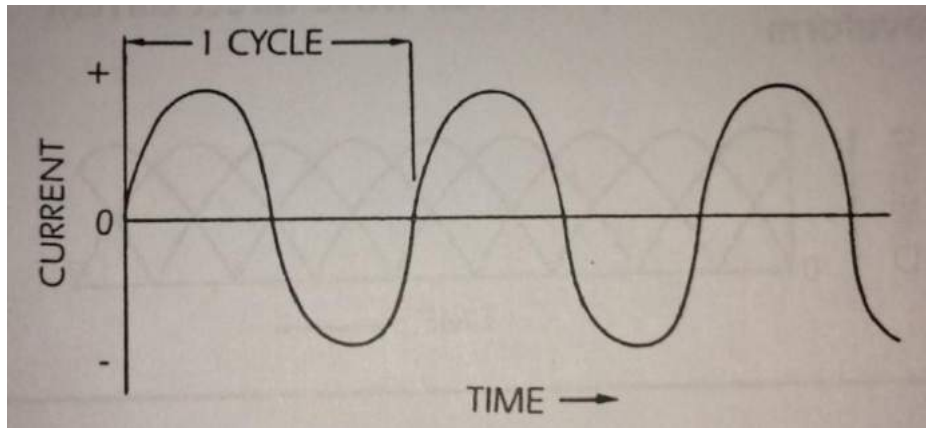
II.2.5. Arus AC dan DC

Arus searah, arus bolak-balik, arus yang disearahkan sebagian (HWDC), dan arus yang disearahkan seluruhnya (FWDC) dipakai sebagai arus magnetisasi dalam pengujian partikel magnet. Hanya satu jenis saja yang diisyaratkan untuk pengujian. Umum diterima bahwa jenis arus magnetisasi terbaik untuk pengujian partikel magnet adalah arus bolak-balik dan arus yang disearahkan sebagian (HWDC). [Smilie, 2000]

Arus bolak-balik paling cocok untuk menemukan diskontinuitas permukaan (akibat adanya efek kulit). HWDC paling sesuai untuk menemukan diskontinuitas dekat permukaan [Smilie, 2000]

II.2.5.1. Arus AC

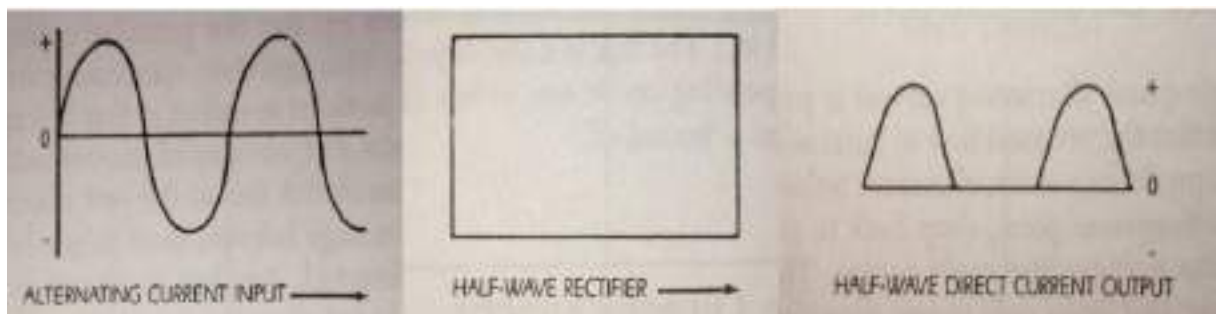
Arus AC paling banyak digunakan sebagai sumber tenaga untuk melakukan pengujian partikel magnet. AC dapat diubah dengan cepat menjadi tegangan rendah untuk dipakai dalam pemeriksaan partikel magnet menggunakan trafo. AC memiliki kemampuan penetrasi yang kecil tetapi sangat sensitif untuk mendeteksi diskontinuitas permukaan. Namun arus AC tidak efektif untuk bawah permukaan. Karena AC memiliki arah bolak-balik, medan magnetnya cenderung menggetarkan atau membuat partikel besi lebih gesit. Hal ini menyebabkan partikel besi lebih responsif terhadap kebocoran medan magnet arus bolak-balik. [Smilie, 2000]



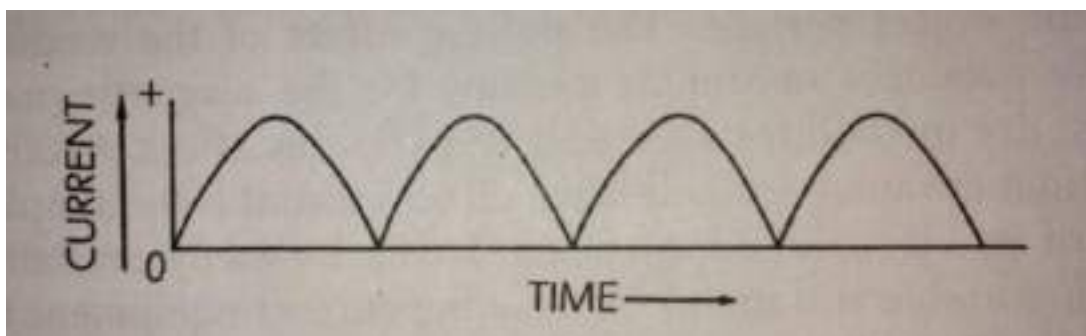
Gambar II.17. Bentuk gelombang arus AC.
 Sumber : NDT Handbook vol.6, 1989

II.2.5.2. Arus DC

Arus AC fasa tunggal dapat disearahkan untuk menghasilkan arus AC separuh gelombang (HWAC), yang umum disebut arus DC separuh gelombang (HWDC). Arus DC gelombang penuh membalik arus negatif menjadi arus positif sehingga jumlah pulsa positif menjadi ganda. [Smilie, 2000]



Gambar II.18. Gelombang AC-HWDC.
 Sumber : NDT Handbook vol.6, 1989

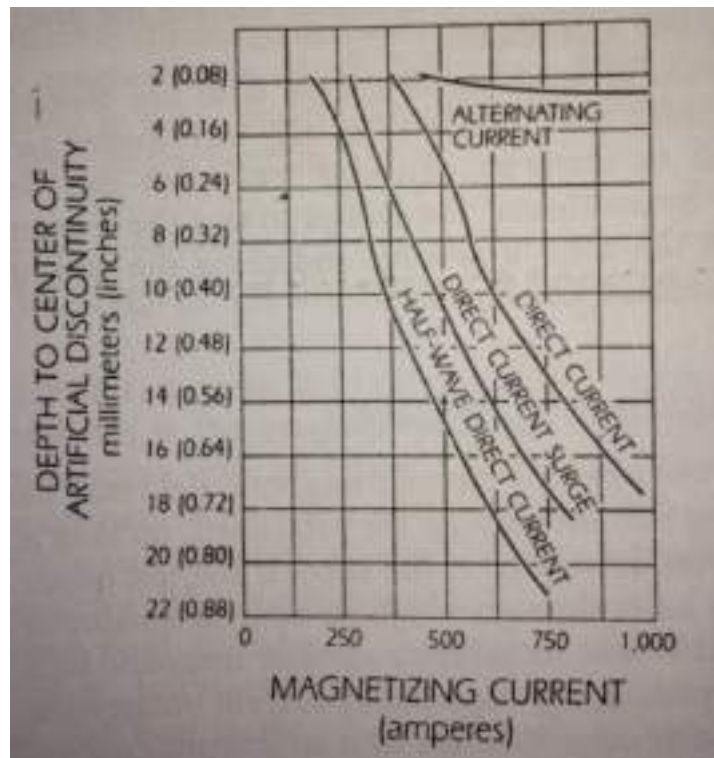


Gambar II.19. Bentuk gelombang arus DC.
 Sumber : NDT Handbook vol.6, 1989

Dengan HWDC terdapat rentang antara pulsa DC tunggal dan juga rentang dimana tidak ada arus mengalir. Arus DC gelombang penuh membalik arus negatif menjadi arus positif sehingga jumlah pulsa positif menjadi ganda. [Smilie, 2000]

II.2.6. Karakteristik penembusan

AC telah ditetapkan sebagai metode terbaik untuk menemukan cacat permukaan. Grafik dibawah ini menggambarkan kemampuan berbagai macam arus dengan menggunakan partikel magnet basah dan kering dalam mencari diskontinuitas bawah permukaan. Percobaan tersebut dilakukan dengan memakai uji betz ring. [Smilie, 2000]



Gambar II.20. Sensivitas dari AC, DC, dan HWDC.
Sumber : NDT Handbook vol.6, 1989

Hasil dari gambar II.20 adalah menggunakan metode *dry continuous testing* dengan arus AC sebesar 60 Hz, arus DC menggunakan baterai, dan arus separuh gelombang arus AC fasa tunggal yang disearahkan.

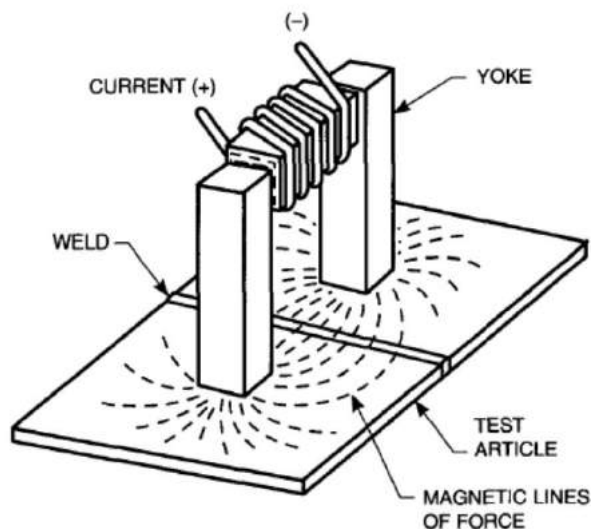
Arus AC membutuhkan sekitar 475 A untuk menemukan indikasi pada lubang pertama dan membutuhkan lebih dari 1000 A untuk menemukan indikasi pada lubang kedua. Lubang ketiga akan sangat sulit ditemukan karena membutuhkan Ampere yang sangat besar.

Indikasi pada lubang kedua dapat ditemukan dengan menggunakan arus DC dengan 475 A, arus HWDC dengan 175 A. arus HWDC dapat menemukan indikasi sampai pada lubang keduabelas dengan 750 A dan arus DC dapat menemukan indikasi sampai pada lubang kesepuluh dengan 975 A. Perbandingan ini membuktikan bahwa penting untuk memilih arus yang tepat untuk dapat menghasilkan indikasi yang baik. [NDT Handbook vol.6, 1989]

II.2.7. Peratalan pengujian partikel magnetik

II.2.7.1. *Electromagnetic yoke*

Unit ini dapat digunakan dengan arus AC dan juga tersedia dalam versi baterai, yang selanjutnya akan meningkatkan portabilitas dengan menghilangkan kebutuhan untuk sumber listrik AC. Banyak *Yoke* yang memiliki kaki (*leg*) untuk memfasilitasi berbagai jenis daerah inspeksi. *Yoke* tersebut hanya menghasilkan magnetisasi secara longitudinal, pemindahan posisi *Yoke* dibutuhkan untuk mencapai orientasi garis medan magnet setidaknya dua arah 90 derajat. [Hellier, 2003]



Gambar II.21. Medan magnet yang dihasilkan oleh Yoke.
Sumber : [NDT Handbook vol.6, 1989]

II.2.7.2. *Pengujian Wet Visible Particle*

Ketika partikel magnetik yang digunakan adalah cairan suspensi pada media cair, beberapa jenis partikel dapat digunakan. Ukuran maksimal dari partikel yang digunakan dalam metode basah untuk pengujian partikel magnetik berkisar antara 40 hingga 60 mikron (antara 0.0381 s/d 0.635 mm).

Partikel yang lebih besar dari ukuran ini sangat sulit untuk menyatu dengan cairan suspensi dan bahkan ukuran 40 hingga 60 mikron akan keluar dari cairan suspensi secara cepat. Partikel dengan ukuran besar memiliki pengaruh yang kurang bagus. Saat cairan suspensi disemprotkan pada permukaan, cairan tersebut akan langsung mengering dan lapisan akan semakin menipis, partikel yang kasar akan cepat menggumpal dan sulit untuk bergerak, sehingga dengan adanya penggumpalan tersebut dapat membingungkan dengan indikasi adanya diskontinuitas pada material yang akan diuji [Betz, 2000]

Dengan media rendaman basah, partikel magnetik tersuspensi dalam sebuah cairan. Cairan tersebut bisa berupa air atau minyak. Partikel basah tadi diaduk untuk menjaga partikel magnetik agar terbagi merata dalam cairan. Partikel magnetik untuk media rendaman basah disediakan dalam awarna hitam, abu-abu, merah, dan *fluorescent* kuning kehijauan. Partikel dalam rendaman basah akan tertarik pada *flux leakage*, tetapi jika tidak terdapat *flux leakage*, maka partikel-partikel itu akan mengalir bebas bersama cairan. Akumulasi dari partikel yang terdapat dalam daerah *flux leakage* yang akan menunjukkan indikasi diskontinuitas. [Smilie, 2000]

II.2.7.3. Jenis-jenis indikasi pada pengujian magnetik partikel

Indikasi yang timbul pada pengujian magnetik partikel terjadi karena adanya kebocoran medan magnet pada pengujian magnetik partikel. Indikasi tersebut dapat berupa indikasi relevan (*relevant indication*), indikasi nonrelevan (*nonrelevant indication*), atau indikasi palsu (*false indication*). [ASME section V artikel 25, 2007]

Indikasi relevan (*relevant indication*) timbul karena adanya kebocoran medan magnet pada pengujian magnetik partikel yang disebabkan karena adanya diskontinuitas. Indikasi relevan perlu dievaluasi dengan menggunakan standard penerimaan yang dibuat oleh agen penguji dan pemilik material. [ASME section V artikel 25, 2007]



Gambar II.22. Indikasi pada retak permukaan.

Sumber : ASME *section V*, 2007

Indikasi nonrelevan (*nonrelevant indication*) dapat terjadi tanpa disebabkan karena adanya diskontinuitas. Indikasi nonrelevan biasanya terjadi pada material yang berlubang atau material yang memiliki bentuk yang rumit. [ASME *section V* artikel 25, 2007]



Gambar II.23. Indikasi nonrelevan pada pengujian magnetik partikel.

Sumber : ASME *section V*, 2007

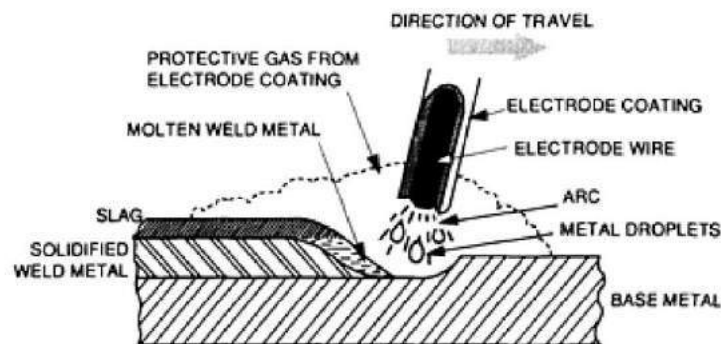
Indikasi palsu (*false indication*) adalah indikasi yang bukan disebabkan karena adanya kebocoran medan magnet. Contohnya seperti partikel terkena gaya gravitasi kecil yang membuatnya terbentuk seperti indikasi atau partikel tertahan karena bentuk permukaan yang tidak rata. [ASME section V artikel 25, 2007]

II.3. Proses pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)

SMAW pada umumnya disebut las stik, adalah proses las manual dimana busur dibentuk antara fluks yang membungkus elektroda dengan benda kerja. Proses ini menggunakan dekomposisi dari fluks untuk membentuk gas pelindung (*shielded gas*) dan untuk melindungi cairan las. [ASM Metal Handbook Vol.5, 1993]

II.3.1. Prinsip

Busur diawali dengan mengetukkan atau menggesekkan elektroda ke benda kerja (*base metal*). Busur akan melelehkan *base metal* dan elektroda secara bersamaan. Lelehan elektroda akan melewati busur menuju *base metal*, dan terjadilah pendepositan las yang terlindungi oleh *slag* dari pembungkus elektroda. [ASM Metal Handbook Vol.6, 1993]



Gambar II.24. Proses SMAW.
Sumber : ASM Handbook Vol.6, 1993

II.3.2. Prosedur pengelasan pada *cast iron*

Proses pengelasan dengan metode SMAW dapat digunakan untuk pengelasan besi tuang (*cast iron*). Terdapat 4 (empat) jenis elektroda yang dapat digunakan, yaitu :

1. *Copper-base electrodes*
2. *Copper aluminium alloy electrode*
3. *Nickel electrode*
4. *Mild steel electrode*

Spesifikasi jenis elektroda dapat dibedakan berdasarkan tujuan penggunaan elektroda tersebut seperti, untuk memiliki kekuatan dan keuletan yang diinginkan, kecocokan elektroda dengan material, dan untuk memiliki *machinability*. Bila pengelasan menggunakan elektroda *cast iron*, diperlukan *preheat* antara 120° - 425°C, tergantung pada ukuran dan kerumitan pada material. [Strata international LTD, 2006]

TABLE 1A ⁽¹⁾ CHEMICAL COMPOSITION REQUIREMENTS FOR UNDILUTED WELD METAL FOR SHIELDED METAL ARC AND FLUX CORED ARC WELDING ELECTRODES												
Weights Percent ^{(1) (2) (3)}												
AWS Classification ⁽²⁾	UNS Number ⁽³⁾	C	Mn	Si	P	S	Fe	Ni ⁽⁴⁾	Mo	Cu ⁽⁵⁾	Al	Other Elements, Total
Shielded Metal Arc Welding Electrodes												
ENi-CI	W82001	2.0	2.5	4.0	...	0.03	8.0	85 min.	...	2.5	1.0	1.0
ENi-CI-A	W82003	2.0	2.5	4.0	...	0.03	8.0	85 min.	...	2.5	1.0-3.0	1.0
ENiFe-CI	W82002	2.0	2.5	4.0	...	0.03	Rem.	45-60	...	2.5	1.0	1.0
ENiFe-CI-A	W82004	2.0	2.5	4.0	...	0.03	Rem.	45-60	...	2.5	1.0-3.0	1.0
ENiFeMn-CI	W82006	2.0	10-14	1.0	...	0.03	Rem.	35-45	...	2.5	1.0	1.0
ENiCu-A	W84001	0.35-0.55	2.3	0.75	...	0.025	3.0-6.0	50-60	...	35-45	...	1.0
ENiCu-B	W84002	0.35-0.55	2.3	0.75	...	0.025	3.0-6.0	60-70	...	25-35	...	1.0
Flux Cored Arc Welding Electrodes												
ENiFeTi-CI ⁽⁶⁾	W82002	2.0	3.0-5.0	1.0	...	0.03	Rem.	45-60	...	2.5	1.0	1.0
notes follow on next page												
TABLE 1B ⁽¹⁾ CHEMICAL COMPOSITION REQUIREMENTS FOR CORE WIRE FOR SHIELDED METAL ARC WELDING ELECTRODES												
Weights Percent ⁽¹⁾												
AWS Classification ⁽²⁾	UNS Number ⁽³⁾	C	Mn	Si	P	S	Fe	Ni	Mo	Cu	Al	Other Elements, Total
Shielded Metal Arc Welding Electrodes												
ESh	K01520	0.15	0.60	0.15	0.04	0.04	Rem.
notes follow on next page												

Gambar II.25. Persyaratan komposisi kimia pada elektroda untuk SMAW dan FCAW.
Sumber : AWS A5.15 ASME Section II C, 2010

II.3.2.1. Copper-base electrodes (ECuSn-A dan C)

Copper zinc alloys tidak dapat digunakan pada pengelasan SMAW karena suhu *zinc* yang rendah. *Zinc* akan menguap dan akan menyebabkan porositas pada hasil pengelasan. *Copper tin electrodes* akan menghasilkan pengelasan yang baik. ECuSn-A memiliki jumlah timah yang sedikit dan elektroda ini lebih sering digunakan. ECuSn-C memberikan hasil yang kuat dan kekerasan yang tinggi. [Strata international LTD, 2006]

II.3.2.2. Copper aluminium alloy electrodes (ECuAl-A2)

Copper aluminium alloy electrodes memberikan hasil pengelasan yang jauh lebih kuat dan digunakan pada *cast iron* yang memiliki kekuatan yang lebih tinggi. Bila pengelasan menggunakan *copper base electrodes*, diperlukan *preheat* antara 120°-200°C dan penggunaan arus yang rendah. [Strata international LTD, 2006]

II.3.2.3. Nickel electrode (Ni)

Ada 3 (tiga) jenis elektroda nikel yang digunakan untuk pengelasan cast iron. ENiFe-CI mengandung sekitar 50% nikel dan besi, ENiCI mengandung sekitar 85% nikel dan ENiCu mengandung nikel dan tembaga. Elektroda ini dapat digunakan tanpa proses preheat. Hasil dari Ni dan NiFe bersifat ductile dan tidak akan berubah menjadi brittle dengan pengurangan karbon. Kekerasan pada HAZ dapat diminimalkan dengan mengurangi penetrasi logam besi tuang. Terdapat 2 (dua) jenis pada nikel tembaga (NiCu), NiCu-A memiliki kandungan nikel 55% dan tembaga 40% dan NiCu-B memiliki tembaga 65% dan tembaga 30%. [Strata international LTD, 2006]

Jenis elektroda berbahan dasar nikel ini digunakan untuk mengelas gray, ductile, dan malleable cast iron. Elektroda ini adalah pilihan yang biasa digunakan untuk mengelas cast iron karena elektroda ini mencegah terjadinya crack pada cast iron ketika dilakukan pengelasan. Produk nikel ini (ENi) sangat jarang terjadi crack yang disebabkan ketika adanya pengenceran yang berlebihan karena elektroda ini memiliki kandungan nikel yang tinggi. [AWS Welding Handbook Vol.4, 1998]

Seperti pada ferit, daya larut karbon pada nikel sangat rendah (0,2%) pada solid state. pada saat pembekuan, karbon tidak bercampur dan menimbulkan graphite. Reaksi ini akan meningkatkan volume deposit pengelasan. Hasil dari peningkatan volume ini membantu mengimbangi tegangan yang dihasilkan ketika proses pendinginan dan mengurangi kemungkinan incomplete fusion dan HAZ cracking. [AWS Welding Handbook Vol.4, 1998]

Elektroda ENi-CI dapat digunakan untuk join besi tuang kelabu dengan besi tuang kelabu, besituang kelabu dengan material ferro/nonferro, dan repair castings. Hasil pengelasan yang baik dilakukan pada small casting dan medium casting yang welding stresses tidak terlalu tinggi atau casting dengan kandungan phosphorus yang tidak tinggi. Klasifikasi dari ENi-CI dapat juga digunakan pada malleable cast iron atau ductile cast iron. [AWS A5.15 ASME Section II C, 2010]

II.3.2.4. *Mild steel electrode (E St)*

Mild steel electrodes (E St) tidak dianjurkan untuk digunakan pada pengelasan cast iron. Mild steel electrodes akan menaikkan kadar karbon dan akan menjadikan cast iron memiliki sifat aus. Jenis elektroda ini hanya dapat digunakan pada perbaikan kecil. Untuk perbaikan kecil diperbolehkan untuk menggunakan suhu preheat yang minimal. [Strata international LTD, 2006]

Elektroda yang diklasifikasi sebagai ESt memiliki steel core wire dan graphite coating. Ini sebenarnya tidak mungkin untuk mencegah pengerasan pada area *weld metal* karena pengenceran *base metal*. Elektroda ESt hanya dapat digunakan untuk memperbaiki lubang kecil dan retak. Elektroda Est dapat juga digunakan untuk memperbaiki casting tanpa membutuhkan postweld machining. Preheating digunakan untuk mencegah tegangan yang berlebihan pada casting iron. [AWS Welding Handbook Vol.4, 1998]

Low-hydrogen steel electrode, seperti E7015, E7016, E7018, dan E7028, biasa digunakan untuk mengelas ornamental iron. Ketika elektroda ini digunakan untuk cast iron, maka hasilnya akan memiliki karbon sebesar 0,8% - 1,5%. Hasil ini, depositnya serupa dengan high carbon steel yang memiliki sifat sangat keras, getas, dan sensitif terhadap retak. [AWS Welding Handbook Vol.4, 1998]

Elektroda ini memiliki titik leleh yang rendah dan berbeda dengan mild steel electrode yang masuk ANSI/AWS A5.1, Specification for carbon steel electrode for shielded metal arc welding. Hasil dari pengelasan dengan menggunakan elektroda ini tidak mudah untuk machinable. Karena hampir tidak mungkin untuk mencegah terjadinya zona keras, jenis elektroda ini biasanya digunakan untuk perbaikan lubang kecil dan small cracks dengan syarat casting yang dilakukan perbaikan tidak membutuhkan postweld machining. Crack dapat terjadi pada hasil pengelasan menggunakan elektroda ini yang disebabkan adanya residual stress. [AWS A5.15 ASME Section II C, 2010]

Preheating dilakukan apabila diperlukan untuk mencegah tegangan yang berlebihan pada bagian cast iron. Elektroda ESt pada umumnya menggunakan arus yang rendah untuk meminimalkan dilution effect pada fusion zone dan mencegah terjadinya crack. Ampere yang direkomendasikan 60A - 95A untuk diameter 2.4mm, 80A – 110A untuk diameter 3.2mm, 110A – 150A untuk diameter 4.0mm pada elektroda positif. Teknik pengelasan tidak bisa langsung, harus sedikit – sedikit dan harus tidak boleh ada sisa slag ketika dilakukan pengelasan. [AWS A5.15 ASME Section II C, 2010]

II.3.3. Keuntungan dan Kelemahan SMAW

Proses SMAW adalah yang paling banyak digunakan daripada proses lainnya, proses ini adalah yang paling sederhana dalam hal peralatan, namun mungkin adalah yang tersulit dalam hal elektrodanya mudah ditemukan di pasaran, dan hampir semua aplikasi dalam manufaktur, konstruksi, dan perawatan. SMAW mempunyai fleksibilitas untuk semua posisi pengelasan (*flat, horizontal, vertical, dan overhead*), dengan ketebalan *base metal* minimum 1,6mm dan ketebalan maksimum yang tidak terbatas. [ASM Metal Handbook Vol.6, 1993].

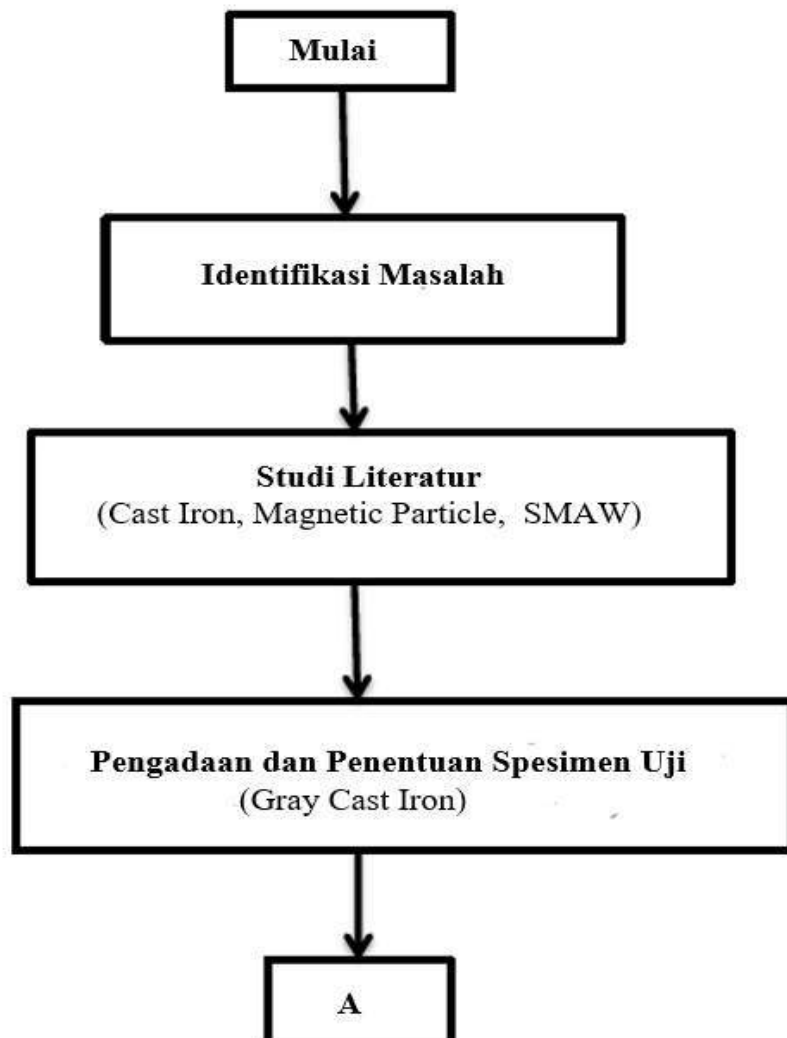
Karena pada dasarnya SMAW adalah proses manual, skill dari juru las adalah yang paling utama. Namun *duty cycle* pada proses ini relatif rendah, karena juru las harus sering melepas elektroda yang akan habis dengan yang baru hampir tiap dua menit sekali, menghilangkan slag, membersihkan kotoran dengan sikat besi. Hal tersebut dapat mengurangi efisiensi pekerjaan hingga 25%. [ASM Metal Handbook Vol.6, 1993]

Halaman ini sengaja dikosongkan

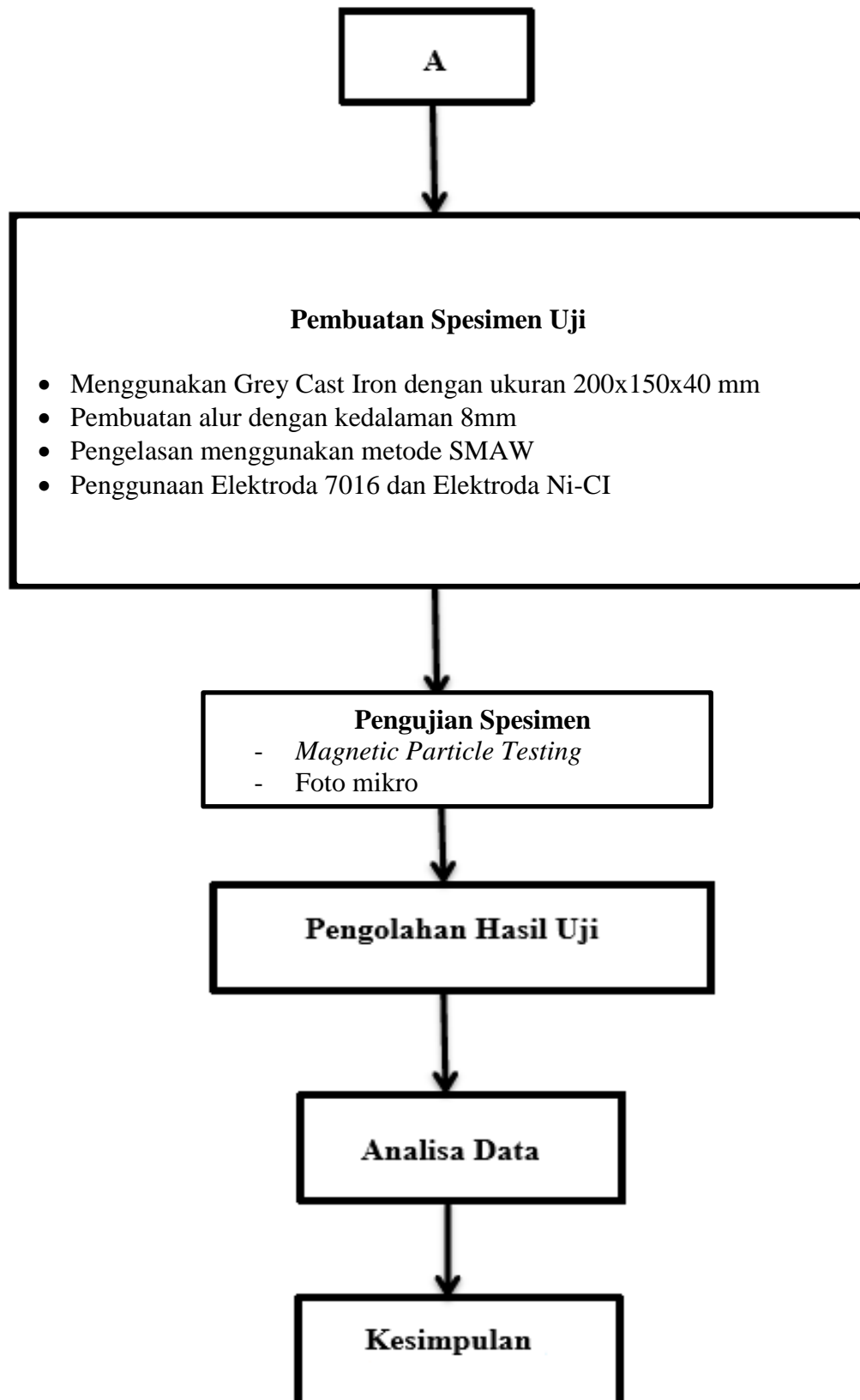
BAB III METODOLOGI

III.1. Diagram Alir

Pada langkah awal pengerjaan tugas akhir ini, dilakukan persiapan-persiapan seperti studi literatur, referensi pengadaan material, referensi bengkel pengelasan, referensi untuk pengujian, dan lain-lain. Semua persiapan tersebut memegang peranan penting untuk pengerjaan tugas akhir ini. Berikut merupakan bagan dari pengerjaan penelitian ini.



Gambar III.1. Diagram alir pengerjaan tugas akhir.

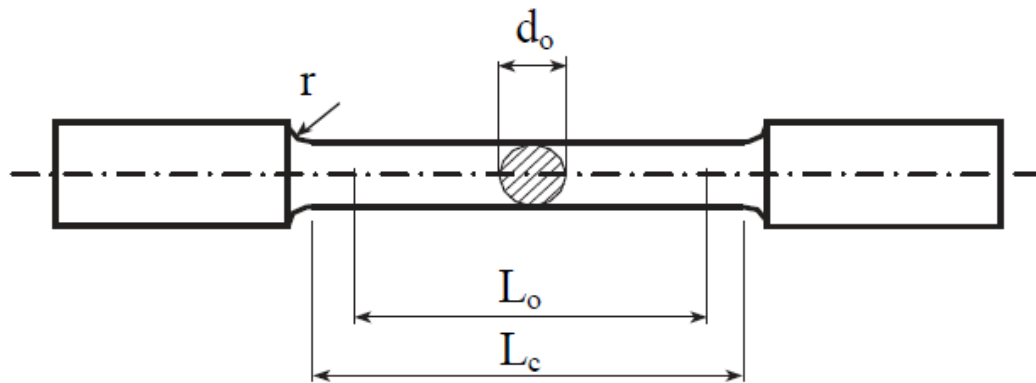


Gambar III.2. Diagram alir pengerjaan tugas akhir (lanjutan).

III.2. Persiapan Uji Tarik

Pada tahap ini, dilakukan persiapan untuk dilakukan uji tarik. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui *Tensile Strengths* R_m pada material yang dilakukan untuk penelitian. Berdasarkan *rules for the classification and construction Vol. V – BKI minimal tensile strengths* untuk material *grey cast iron* adalah 200 N/mm^2 .

Spesimen yang digunakan untuk uji tarik menggunakan desain spesimen berdasarkan *rules for the classification and construction Vol. V – BKI*. Pada tahap ini material dipotong dengan menggunakan mesin gergaji dengan ukuran panjang 220 mm, lebar 22 mm dan tebal 22 mm. Kemudian material dibentuk seperti pada gambar III.3 dengan menggunakan mesin bubut.



Gambar III.3. Desain spesimen uji tarik.

Ukuran Dimensi :

- D_o = 14 mm
- L_o = 70 mm
- L_c = 85 mm
- r = 10 mm



Gambar III.4. Material setelah dilakukan pemotongan.



Gambar III.5. Pembentukan spesimen dengan menggunakan mesin bubut.

III.3. Pembuatan *Welding Procedure Specification* (WPS)

Prosedur pengelasan mengacu pada *Welding procedure spesification* (WPS) berdasarkan standar ASME Section IX.

Prosedur pengelasan pada material 1 (ENiCl) :

Welding Process : Shield Metal Arc Welding (SMAW)

Type : Manual

Joint Design : Butt Weld

Base Metal : Grey Cast Iron

Grove : 8 – 10 mm

Plate Thickness : 40 mm

Filler Metal :

AWS no. (Classification) : E NiCl

Diametres : 2.6 – 4.0 mm

Welding Position : 1G (Down Hand)

Interpass Temperature : 121° – 425°C

Current AC or DC : DC

Polarity : DCEP

Amperage (Range) : 100 – 165 A

Voltage (Range) : 22 – 28 A

String or Weave Bead : String

Initial and Interpass Cleaning : Chipping, Brushing and Grinding

Technique : Grinding

Prosedur pengelasan pada material 2 (E7016) :

Welding Process : Shield Metal Arc Welding (SMAW)

Type : Manual

Joint Design : Butt Weld

Base Metal : Grey Cast Iron

Grove : 8 – 10 mm

Plate Thickness : 40 mm

Filler Metal :

AWS no. (Classification) : E 7016

Diametres : 2.6 – 4.0 mm

Welding Position : 1G (Down Hand)

Interpass Temperature : 121° – 425°C

Current AC or DC : DC

Polarity : DCEP

Amperage (Range) : 75 – 125 A

Voltage (Range) : 19 – 25 A

String or Weave Bead : Weave Bead

Initial and Interpass Cleaning : Chipping, Brushing and Grinding

Technique : Grinding

Parameter pengelasan pada material 1 (ENiCl) :

Tabel III.1. Parameter pengelasan pada material 1 (ENiCl).

Layer	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)
1	120	23
2	135	25
3	150	27
4	120	23
5	120	23

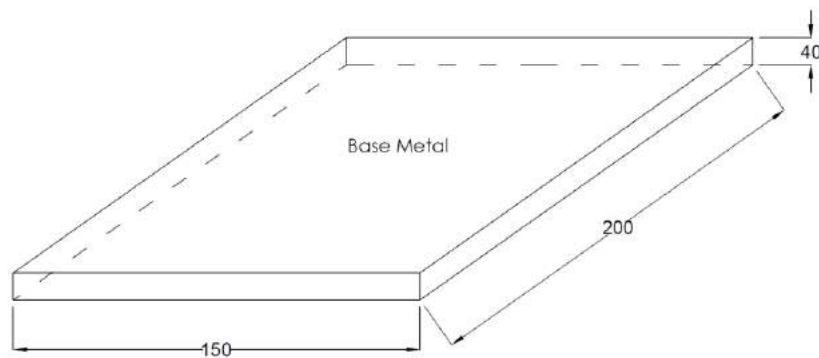
Parameter pengelasan pada material 2 (E7016) :

Tabel III.2. Parameter pengelasan pada material 2 (E7016).

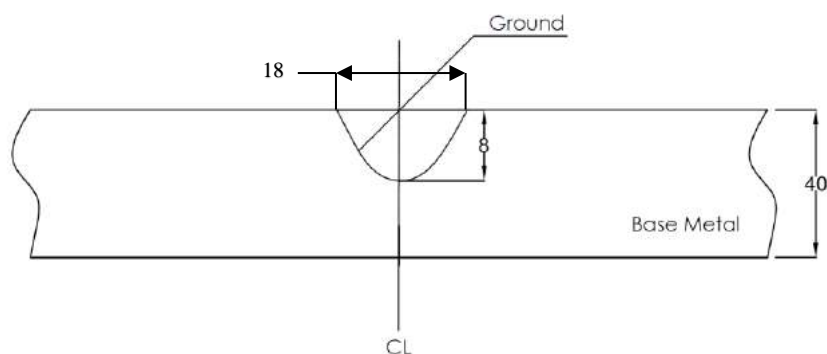
Layer	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)
1	90	20
2	105	24
3	105	24
4	120	25
5	120	25
6	90	20
7	90	20
8	90	20

III.4. Persiapan Material dan Alat

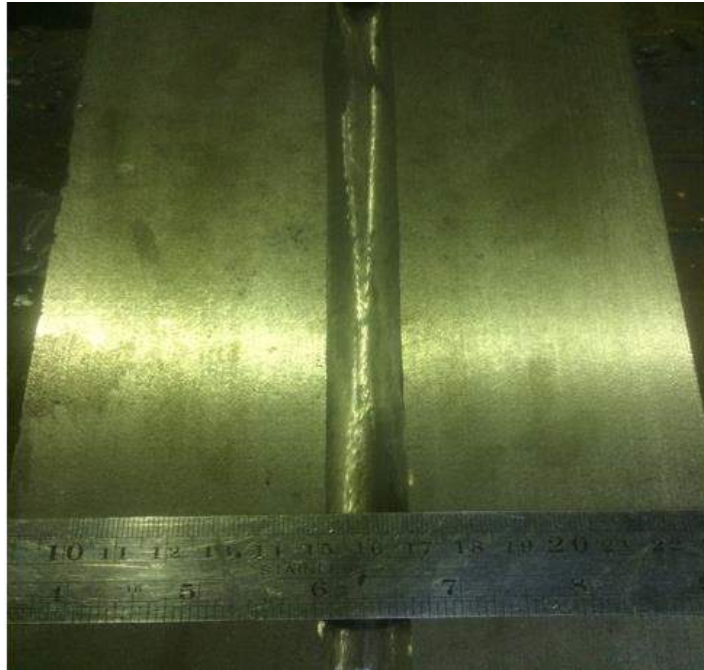
Pada tahap ini, dilakukan pengadaan material yang akan digunakan untuk tugas akhir. Material yang dipersiapkan adalah produk cast iron sebanyak 2 buah dengan ukuran 200 mm x 150 mm x 40 mm. Saat pembelian, material tersebut masih berupa produk yang harus dipotong sesuai dengan ukuran yang direncanakan dan juga harus dilakukan foto mikro untuk mengetahui jenis dari cast iron tersebut. Pemotongan dilakukan menggunakan mesin gergaji. Kedua material yang sudah dipotong sesuai ukuran tersebut nantinya akan di las menggunakan metode SMAW dengan elektroda 7016 dan elektroda Ni-CI. Sebelum dilakukan pengelasan, material diratakan dengan mesin scrap kemudian dibentuk alur pada material dengan kedalaman 8mm dan selanjutnya dilakukan pengelasan. Setelah pengelasan, material dihaluskan kembali menggunakan *flap disc*. *Flap disc* merupakan kertas gosok yang disusun sedemikian rupa membentuk lingkaran sehingga dapat digunakan sebagai mata gerinda.



Gambar III.6. Dimensi Spesimen uji.



Gambar III.7. Kedalaman alur yang dibentuk.



Gambar III.8. Spesimen uji sebelum pengelasan.

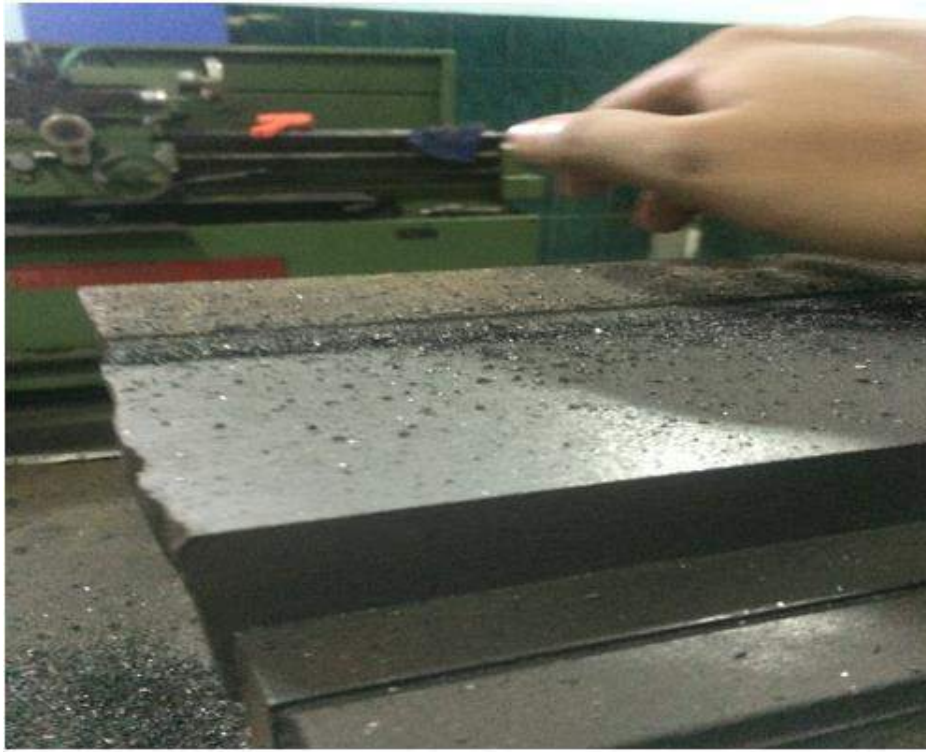
Peralatan lain yang digunakan untuk pembuatan spesimen antara lain :

- Mesin ESAB LHE 300
- Mesin Scrap
- Blader Las
- Palu *Chipping*
- Sikat Baja
- Ragum
- Sarung Tangan Las
- Kacamata Las
- Spidol
- Penggaris
- Jangka sorong
- *Infrared thermal*
- *Portable oven*
- Jangka sorong digital

Peralatan pengujian merupakan hal yang utama untuk disiapkan sebaik mungkin pada penelitian ini. Adapun peralatan yang digunakan untuk pengujian *penetrant* dan pengujian *magnetic particle*.

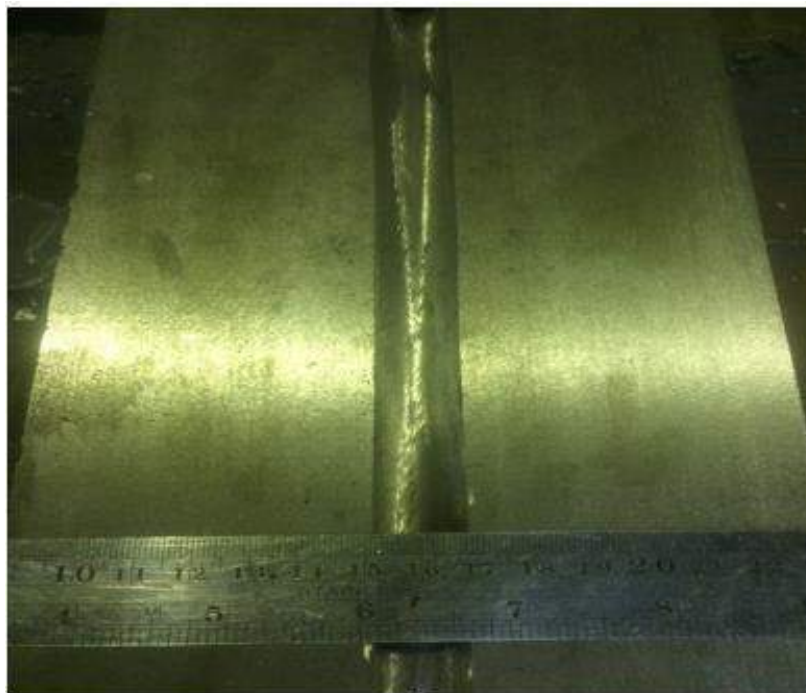
III.5. Proses Pembuatan alur

1. Material diratakan dengan menggunakan mesin scrap agar material memiliki permukaan yang diinginkan.



Gambar III.9. Perataan material dengan menggunakan mesin scrap.

2. Pembuatan alur las dengan kedalaman 8mm dengan menggunakan mesin gerinda.



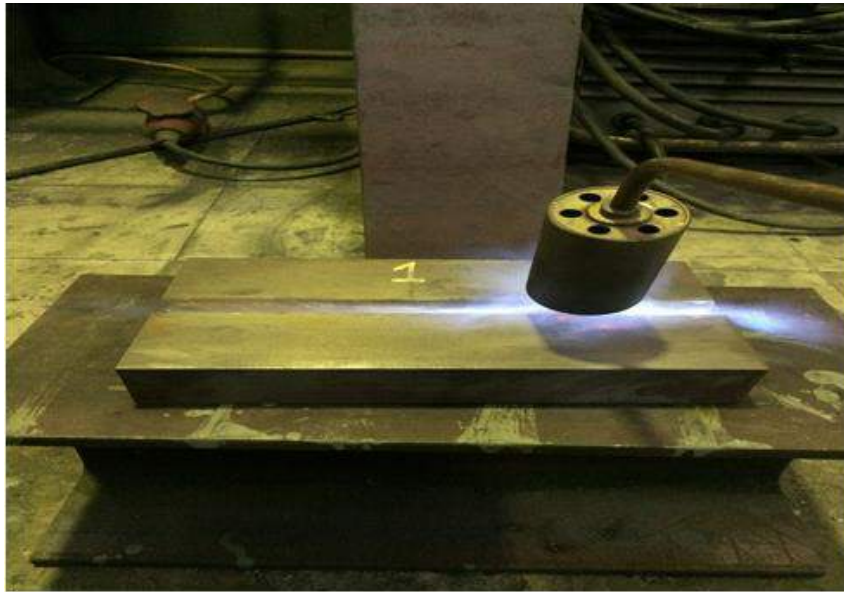
Gambar III.10. Proses pembuatan alur.

III.6. Proses pengelasan

Spesimen uji yang sudah selesai dibentuk alur dan telah dilakukan proses pembersihan serta penghalusan dari sisi tajam selanjutnya dilakukan proses *preheat* pada material dengan suhu 150°-300°C. proses *preheat* ini bertujuan agar pada saat proses pengelasan, *weld metal* dan *base metal* menyatu dengan sempurna. Selanjutnya dilakukan proses pengelasan.

III.6.1. Material 1 (satu)

1. Material dilakukan *preheat* dengan suhu 163°C.



Gambar III.11. Proses *preheat* pada material pertama.



Gambar III.12. Pengukuran suhu material pertama.

2. Pengelasan dilakukan dengan metode SMAW dan Elektroda Ni-CI.



Gambar III.13. Elektroda CI-A1 AWS A5.15 E Ni-CI.



Gambar III.14. Pengelasan dengan metode SMAW dan ampeere sebesar 150-200.

III.6.2. Material 2 (Dua)

1. Material dilakukan *preheat* dengan suhu 163°C.

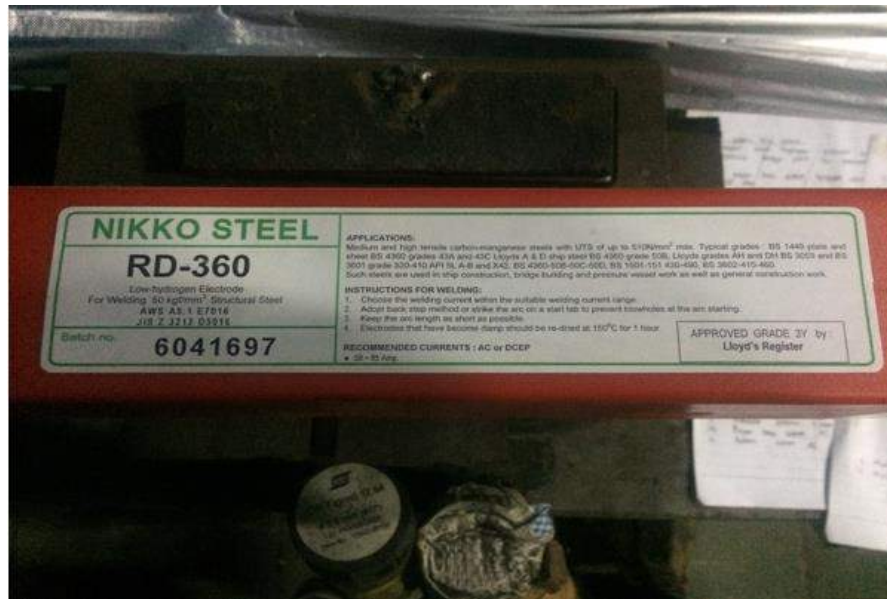


Gambar III.15. Proses *preheat* pada material kedua.



Gambar III.16. Pengukuran suhu material kedua.

2. Pengelasan dilakukan dengan metode SMAW dan Elektroda Ni-CI.



Gambar III.17. Elektroda NIKKO STEEL AWS A5.1 E 7016.



Gambar III.18. Pengelasan dengan metode SMAW dan ampere sebesar 80-100.

3. Kedua, karena menggunakan elektroda dengan karbon tinggi maka elektroda dipanaskan dengan oven terlebih dahulu sampai 150°C. Kemudian dipindahkan ke *portable oven*. Selanjutnya dilakukan pengelasan.



Gambar III.19. Pemanasan elektroda menggunakan oven.



Gambar III.20. Penyimpanan elektroda dengan menggunakan *portable oven*.

III.7. Proses Pengujian *Magnetic Particle*

III.7.1. Partikel magnetik

1. Partikel basah *visible*.

Untuk pengujian dengan menggunakan partikel basah *visible*, digunakan larutan suspensi berupa *white mineral oil*, *isobutene*, serta *iron oxide*. Pada penelitian ini menggunakan partikel basah *visible* berjenis magnaflux 7HF dan berwarna hitam.

III.7.2. Prosedur pengujian

Jika semua jenis tahapan-tahapan awal dari persiapan material, serta semua peralatan pengujian telah selesai dilaksanakan. Mekan langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian *magnetic particle* dengan menggunakan metode *wet fluorescent* dan menggunakan AC yoke. Berikut uraian tahapan pengujian MPI:

1. Penataan meja dan pembersihan material dengan kain lap dan cleaner (SKC-S)



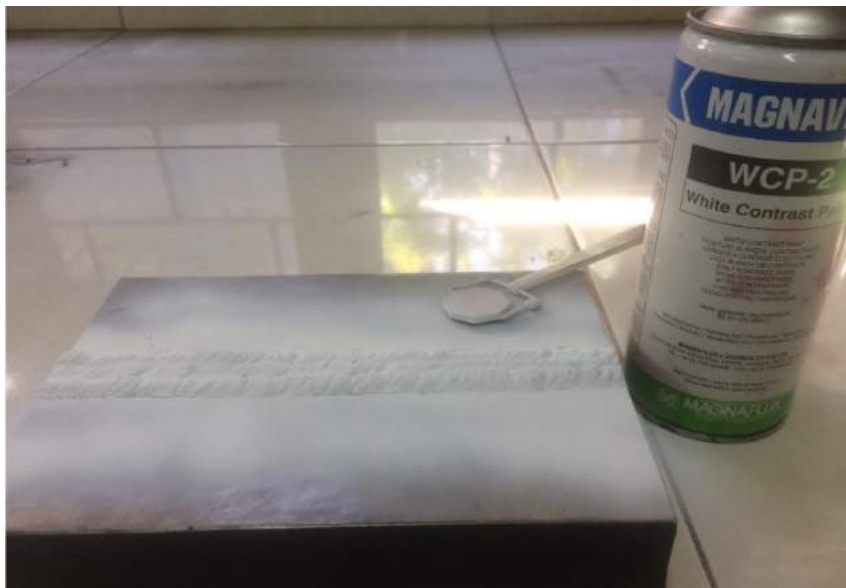
Gambar III.21. Pembersihan permukaan dengan menggunakan *cleaner*.

2. Melakukan pengukuran intensitas cahaya menggunakan lampu putih tambahan dengan intensitas minimum adalah 1000lux.



Gambar III.22. Intensitas cahaya diukur dengan Lux meter.

3. Melakukan penyemprotan pada permukaan material dengan menggunakan *white contrast paint* (WCP-2).



Gambar III.23. penyemprotan *white contrast paint* pada material.

4. Peralatan *yoke* kemudian diaktifkan dengan menekan tombol *on/off* dan ditempelkan pada permukaan material uji dimana, posisi kaki *yoke* menyilang tegak lurus terhadap arah retak pada material agar memberikan cakupan medan magnet yang luas. *Pie-shape* digeser menjauhi/mendekati *yoke* untuk menemukan jarak medan magnet yang optimum.



Gambar III.24. jarak *overlap* medan magnet yang dibentuk oleh *yoke*.

5. Pengujian dilakukan secara terus menerus dengan mengaplikasikan MPI ink (7HF). Kemudian dilakukan pengamatan permukaan untuk melihat adanya indikasi pada material tersebut.



Gambar III.25. Terdapat adanya indikasi setelah dilakukan pengamatan.

6. Dilakukan pengukuran menggunakan jangka sorong digital dan pengambilan gambar menggunakan kamera dari hasil masing-masing indikasi untuk membuat sketsa dari hasil pengujian.
7. Setelah selesai partikel dibersihkan dan dilakukan proses demagnetisasi dengan membalik arah medan magnet sambil menjauhkan *yoke AC* dari material uji.



Gambar III.26. Gauss meter digunakan untuk mengukur medan magnet sisa.

8. Langkah ke-1 sampai ke-7 digunakan untuk pengujian pada material pertama dan material kedua.

III.8. Proses Pengujian Foto Mikro

III.8.1. Persiapan material

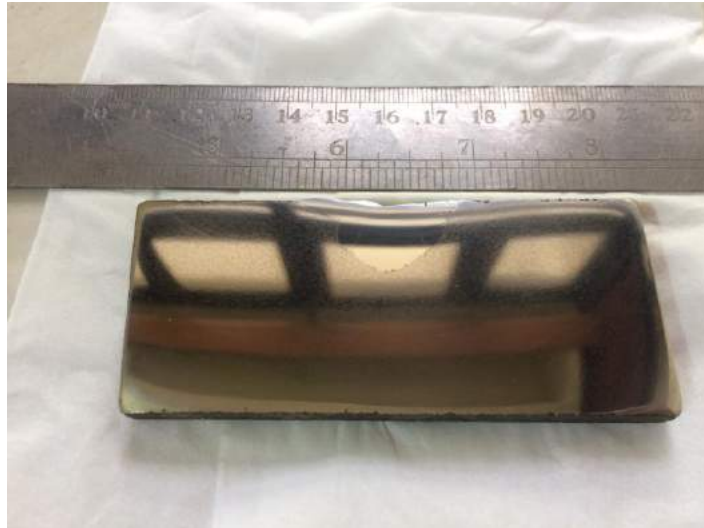
Untuk pengujian foto mikro material dipotong dengan panjang 60mm dan tebal 10mm pada material 1 (satu) dan material 2 (dua). Kemudian material dilakukan *polishing* dengan menggunakan mesin poles (*polisher*) dari grade 80 sampai grade 2000. Lalu dilakukan *etching* pada material yang sudah dilakukan *polishing*.



Gambar III.27. tahap grade *polishing* yaitu, grade 80, 240, 400, 500, 600, 800, 1000, 1500, 2000.

III.8.2. *Etching* dan Foto Mikro

Pada tahap ini material yang sudah dilakukan *polishing* sampai grade 2000, material di lakukan *etching* dan kemudian dilakukan foto mikro.



Gambar III.28. Potongan specimen untuk foto mikro pada material 1 setelah dipoles grade 2000.



Gambar III.29. Potongan specimen untuk foto mikro pada material 2 setelah dipoles grade 2000.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. Hasil uji tarik

Spesimen yang digunakan untuk uji tarik adalah sebanyak 3 buah. Standard yang dipakai untuk pengujian adalah standard BKI Vol.5 *Rules of Material*. Berikut hasil dari pengujian :

Tabel IV.1. Hasil uji tarik.

NO	SPECIFICATION SAMPLE		TENSILE TEST RESULTS			
	DIA. (mm)	C S A (mm ²)	YIELD STRESS (MPa)	ULTIMATE STRESS (MPa)	ELONGATION %	REDUCT of AREA %
1	14.24	159.261	175.812	200.928	2.342	0.841
2	14.25	159.484	172.431	200.647	2.142	0.28

NO	F. YIELD		F. ULTIMATE		Lo (mm)	L1 (mm)	D1 (mm)	A1 (mm ²)
	KN	N	KN	N				
1	28	28000	32	32000	70	71.64	14.18	157.921
2	27.5	27500	32	32000	70	71.5	14.23	159.037

Hasil dari uji tarik *tensile strength* yang didapat adalah 200.928, dan 200.647 MPa. Sesuai dengan standard BKI, minimal *Tensile Strength* pada material *grey cast iron* adalah 200 MPa. Dari hasil uji tarik, Material yang digunakan untuk penelitian sesuai dengan standard BKI dengan rata-rata hasil uji tarik adalah 200.787 MPa dan material termasuk kode material EN-GJL-200.

IV.2. Pengujian magnetik partikel

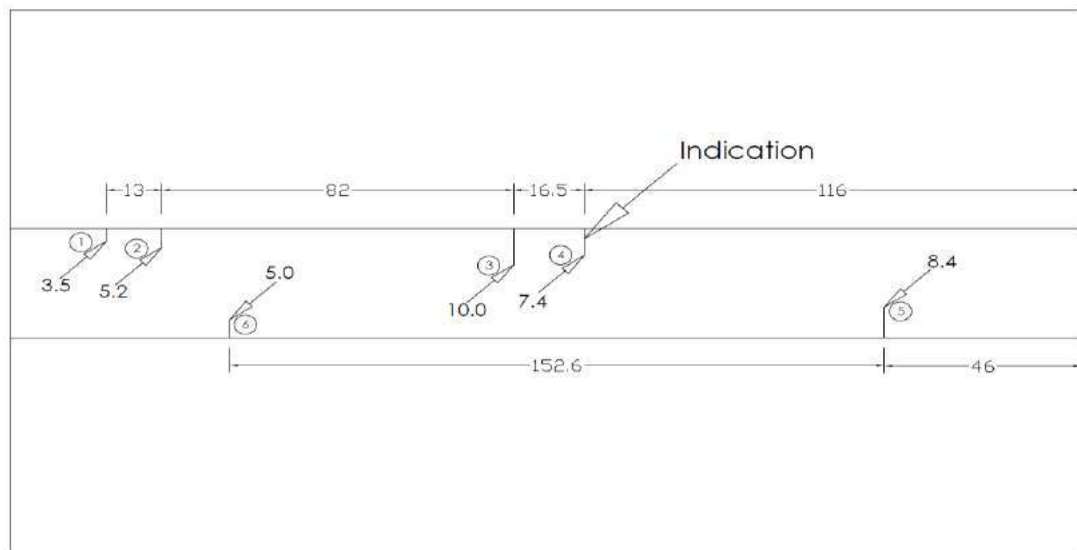
Pada bab ini akan disajikan analisa dan pembahasan hasil pengujian *MPI (Magnetic Particle Inspection)* dan pengujian foto mikro yang sudah dilaksanakan sebelumnya. Pengujian magnetik partikel yang sudah dilakukan yaitu menggunakan metode *visible wet*.

IV.2.1. Pengujian magnetik partikel pada material 1

Pada material 1 elektroda yang digunakan adalah elektroda NiCI AWS A5.1. berikut hasil dari pengujian magnetik partikel pada material 1 :



Gambar IV.1. Hasil pengujian pada material 1 (satu).



Gambar IV.2. Sketsa hasil pengujian pada material 1 (satu).



Gambar IV.3. Indikasi pada nomor 3 hasil pengujian magnetik partikel pada material 1 (satu).



Gambar IV.4. Indikasi pada nomor 4 hasil pengujian magnetik partikel pada material 1 (satu).



Gambar IV.5. Indikasi pada nomor 5 hasil pengujian magnetik partikel pada material 1 (satu).

Tabel IV.2. Keterangan hasil pengujian magnetik partikel pada material 1 (ENiCl).

No.	Indikasi	Panjang (mm)	Relevan/ Nonrelevan
1	Linier	3.50	Relevan
2	Linier	5.20	Relevan
3	Linier	10.00	Relevan
4	Linier	7.40	Relevan
5	Linier	8.40	Relevan
6	Linier	5.00	Relevan

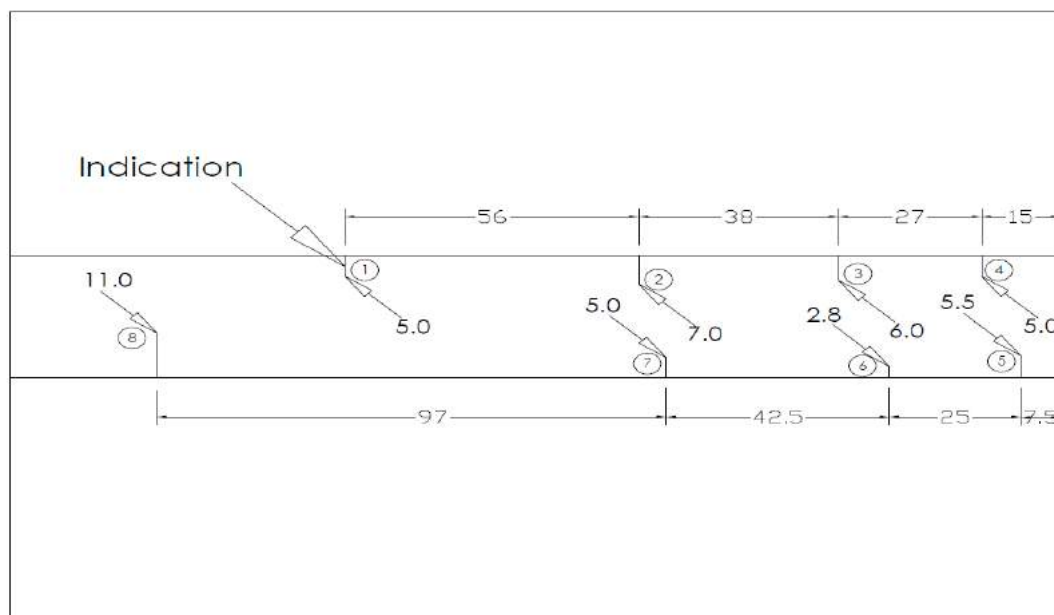
Hasil dari pengujian magnetik partikel pada material 1 (ENiCl), terdapat 6 (enam) indikasi yang memiliki panjang terbesar 10.00 mm dan panjang terkecil 3.50 mm. Indikasi yang muncul ditolak (*rejected*) karena panjang maksimal untuk keberterimaan indikasi linier adalah 1.5 mm.

IV.2.2. Pengujian magnetik partikel pada material 2 (dua)

Pada material 2, elektroda yang digunakan adalah elektroda E7016 AWS A5.1. berikut hasil dari pengujian magnetik partikel pada material 2 :



Gambar IV.6. Hasil pengujian magnetik partikel pada material 2



Gambar IV.7. Sketsa hasil pengujian magnetik partikel pada material 2



Gambar IV.8. Indikasi pada nomor 2 hasil pengujian magnetik partikel pada material 2 (dua).



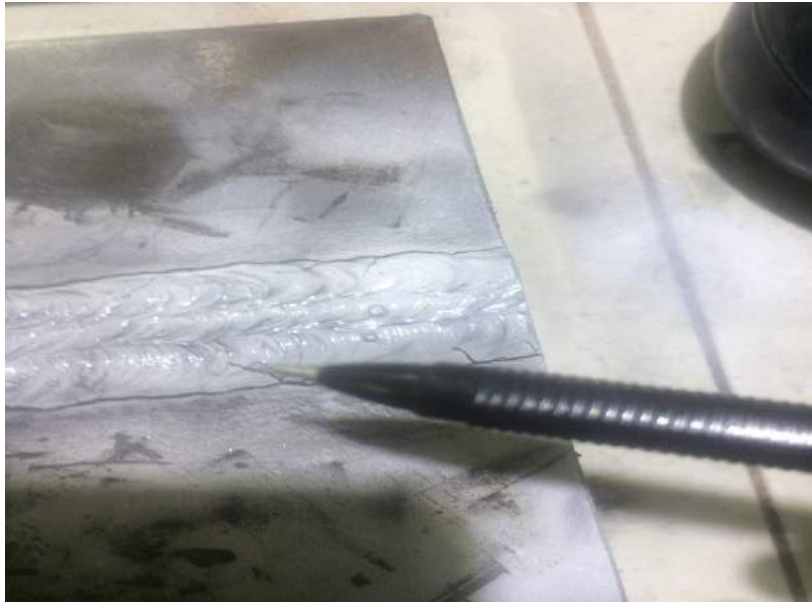
Gambar IV.9. Indikasi pada nomor 3 hasil pengujian magnetik partikel pada material 2 (dua).



Gambar IV.10. Indikasi pada nomor 4 hasil pengujian magnetik partikel pada material 2 (dua).



Gambar IV.11. Indikasi pada nomor 5 hasil pengujian magnetik partikel pada material 2 (dua).



Gambar IV.12. Indikasi pada nomor 6 hasil pengujian magnetik partikel pada material 2 (dua).



Gambar IV.13. Indikasi pada nomor 7 hasil pengujian magnetik partikel pada material 2 (dua).

Tabel IV.3. Keterangan hasil pengujian magnetik partikel pada material 2 (E7016).

No.	Indikasi	Panjang (mm)	Relevan/ Nonrelevan
1	Linier	5.00	Relevan
2	Linier	7.00	Relevan
3	Linier	6.00	Relevan
4	Linier	5.00	Relevan
5	Linier	5.50	Relevan
6	Linier	2.80	Relevan
7	Linier	5.00	Relevan
8	Linier	11.0	Relevan

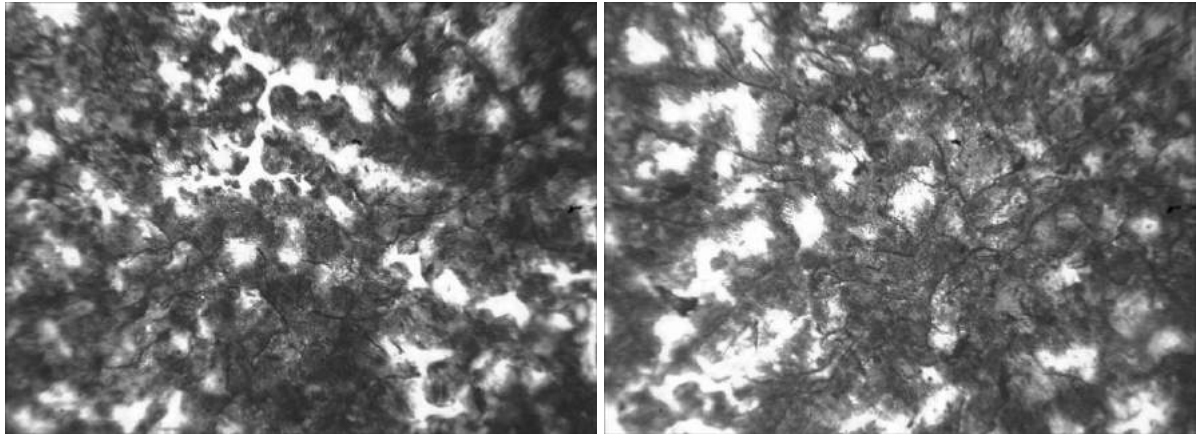
Hasil dari pengujian magnetik partikel pada material 2 (E7016), terdapat 8 (delapan) indikasi yang memiliki panjang terbesar 11.00 mm dan panjang terkecil 2.80 mm. Indikasi yang muncul ditolak (*rejected*) karena panjang maksimal untuk keberterimaan indikasi linier adalah 1.5 mm. indikasi pada material 2 (E7016) lebih banyak dari pada material 1 (ENiCl).

Indikasi relevan adalah indikasi yang diakibatkan oleh diskontinuitas yang membuka ke permukaan yang ukuran terbesarnya $> 1.5\text{mm}$. Indikasi nonrelevan adalah indikasi yang diakibatkan oleh kondisi-kondisi selain diskontinuitas seperti ketidakaturan permukaan akibat permesinan, penggerindaan, atau pengelasan.

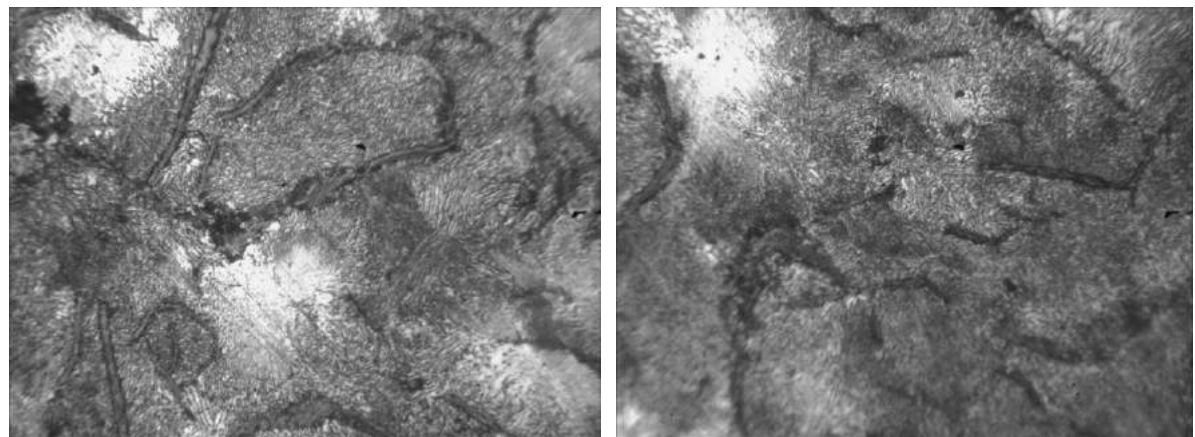
IV.3. Pengujian foto mikro

Pengujian foto mikro dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari material yang dapat mempengaruhi pengujian magnetik partikel.

IV.3.1. Hasil pengujian foto mikro sebelum dilakukan pengelasan



Gambar IV.14. Struktur mikro *base metal* 100x.

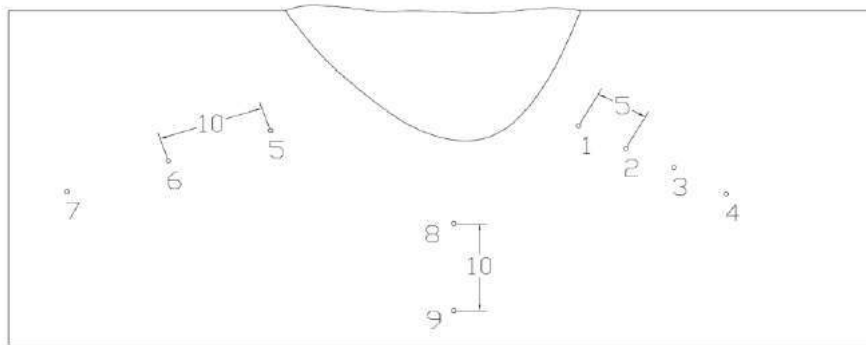


Gambar IV.15. Struktur mikro *base metal* 100x.

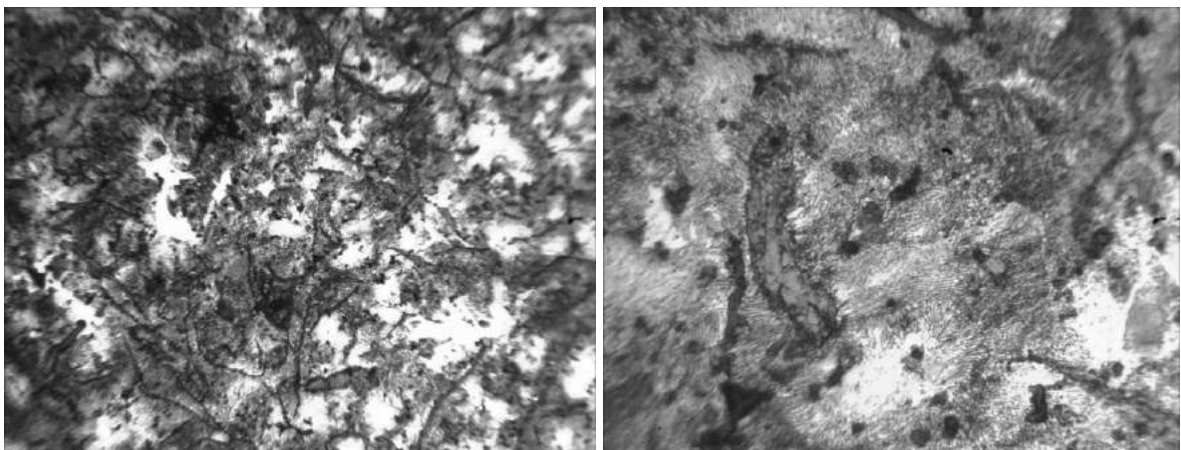
Dari hasil foto mikro dapat diketahui bahwa material tersebut adalah besi tuang kelabu (*grey cast iron*). Grafit yang berbentuk *flake* adalah ciri khas dari besi tuang kelabu.

IV.3.2. Hasil pengujian foto mikro pada material 1 (NiCl)

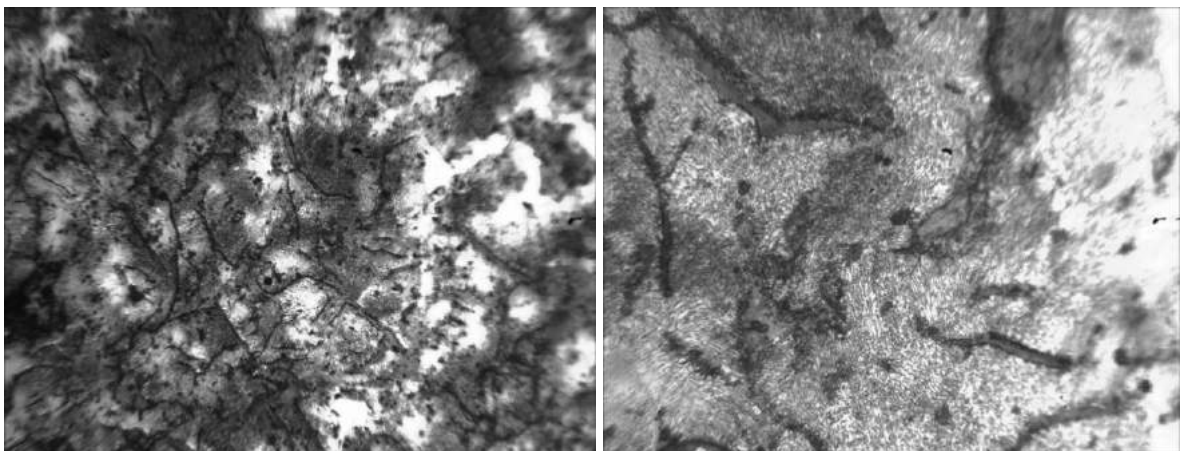
Pengujian struktur mikro dilakukan pada material 1 (NiCl) yang sudah dipotong melintang, kemudian dipoles hingga grade 2000 dan di etsa dengan menggunakan nital. Pengambilan foto mikro dilakukan pada daerah *base metal* 9 (sembilan) titik, HAZ, dan *Weld metal*.



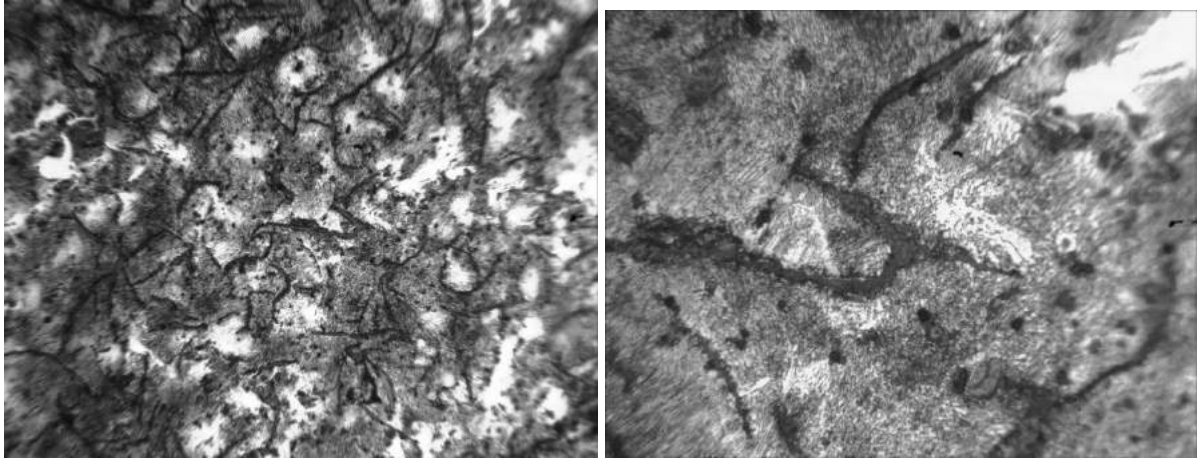
Gambar IV.16. Sketsa letak posisi foto mikro pada *base metal*.



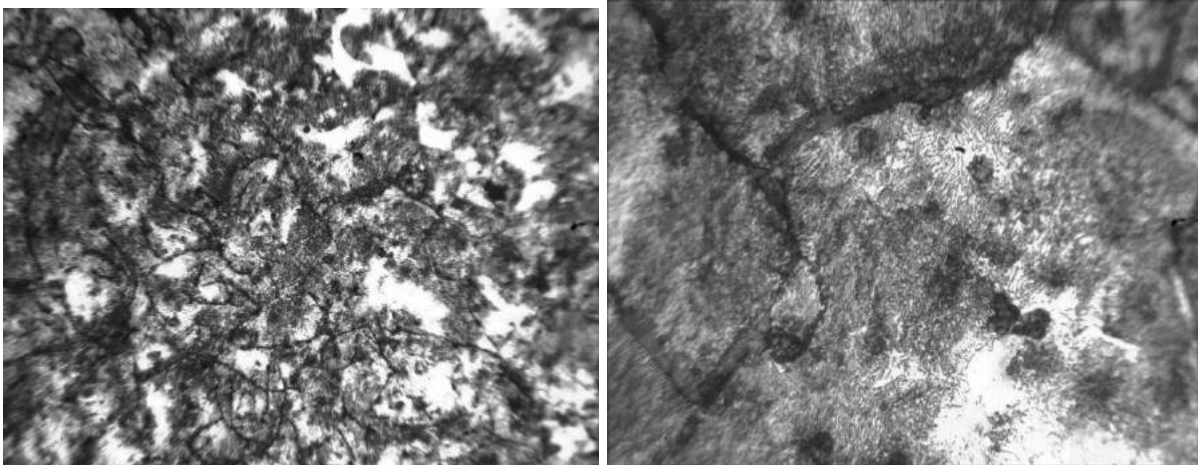
Gambar IV.17. Struktur mikro *base metal* pada titik no.1 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).



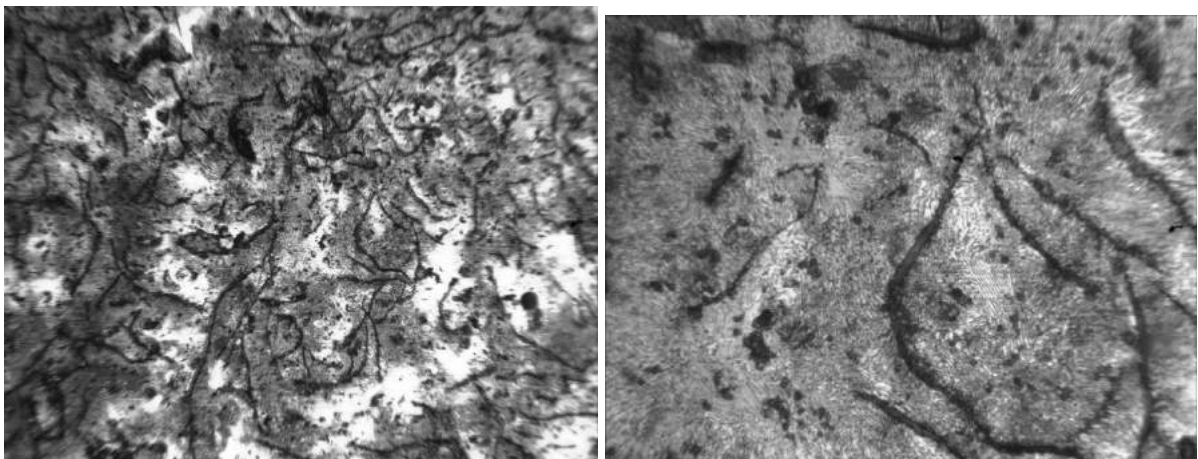
Gambar IV.18. Struktur mikro *base metal* pada titik no.2 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).



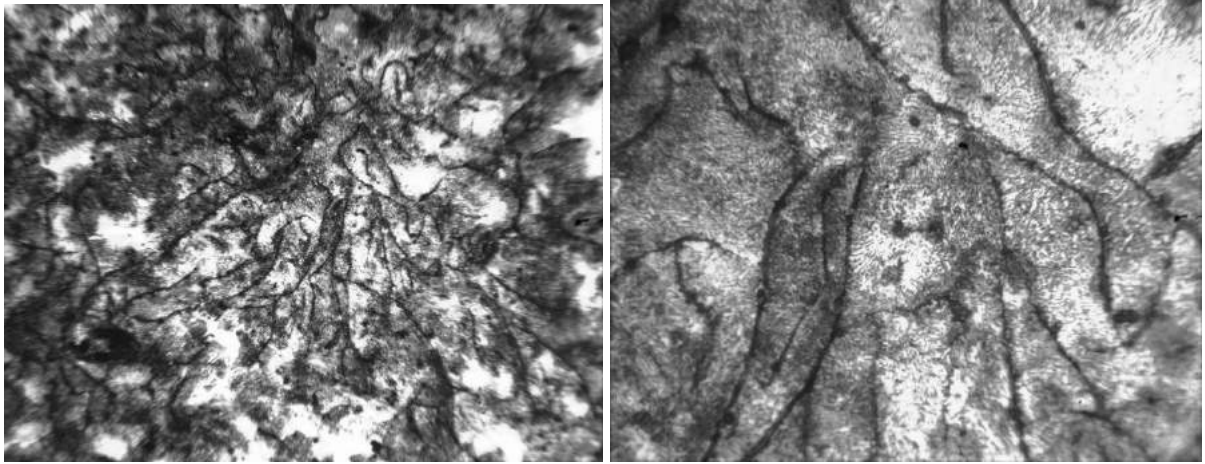
Gambar IV.19. Struktur mikro *base metal* pada titik no.3 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).



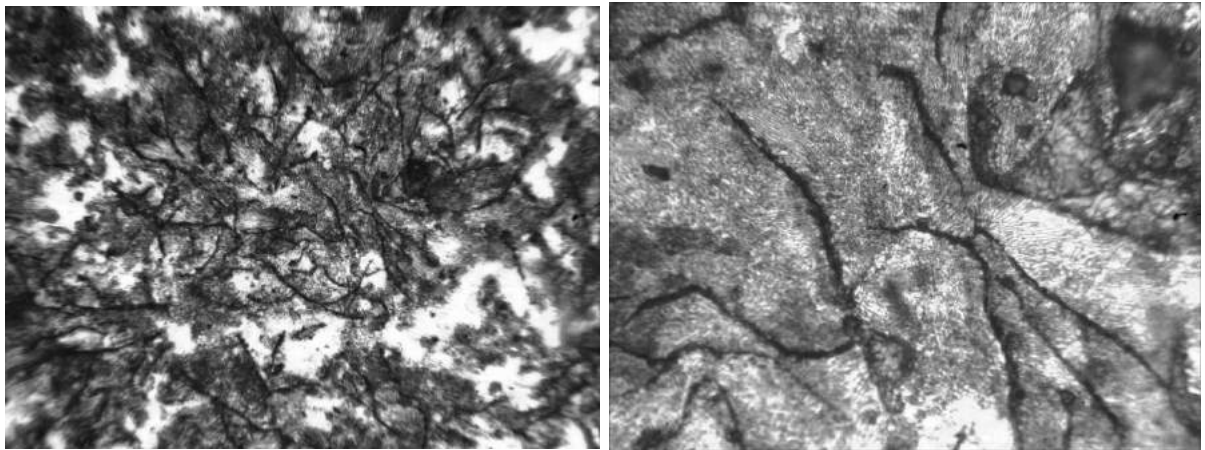
Gambar IV.20. Struktur mikro *base metal* pada titik no.4 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).



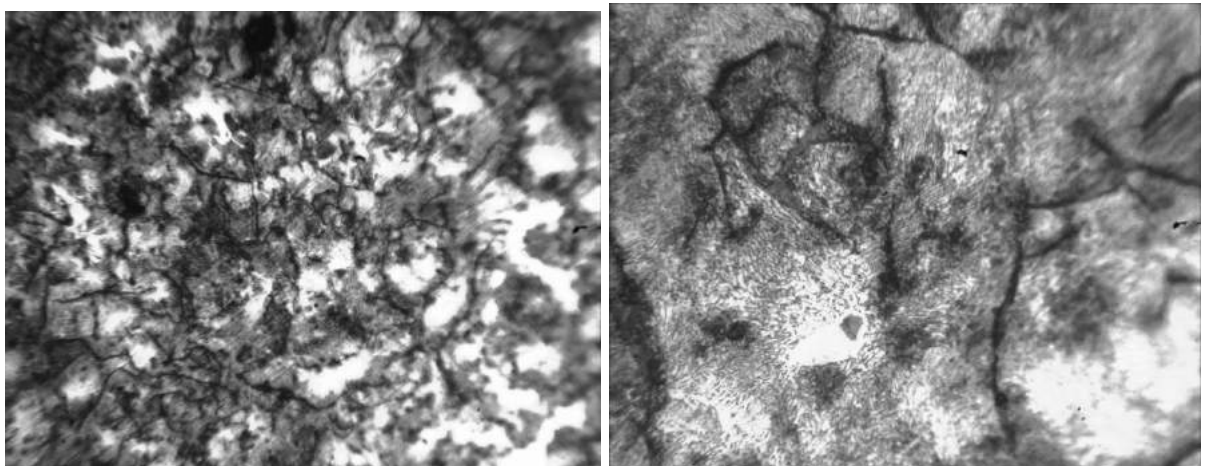
Gambar IV.21. Struktur mikro *base metal* pada titik no.5 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).



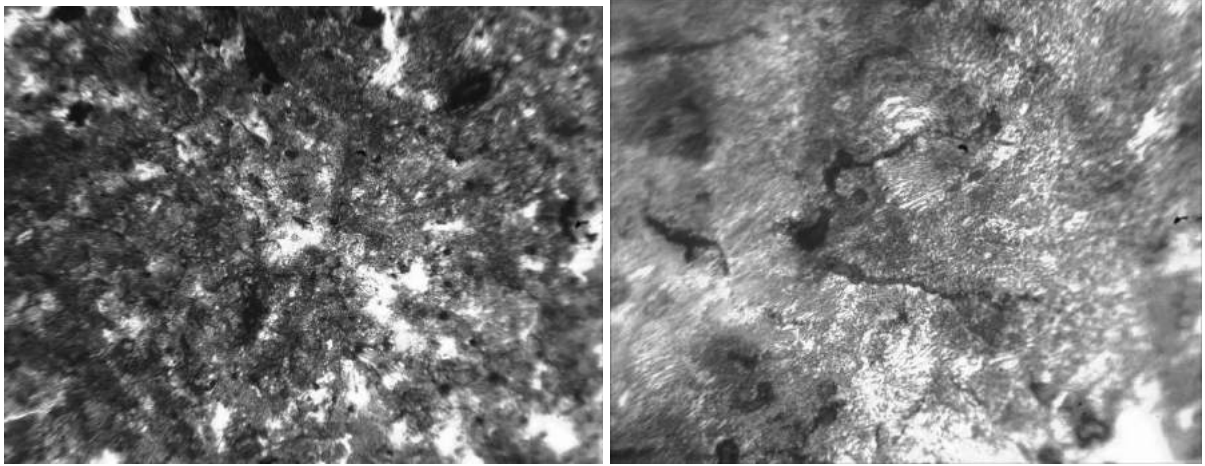
Gambar IV.22. Struktur mikro *base metal* pada titik no.6 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).



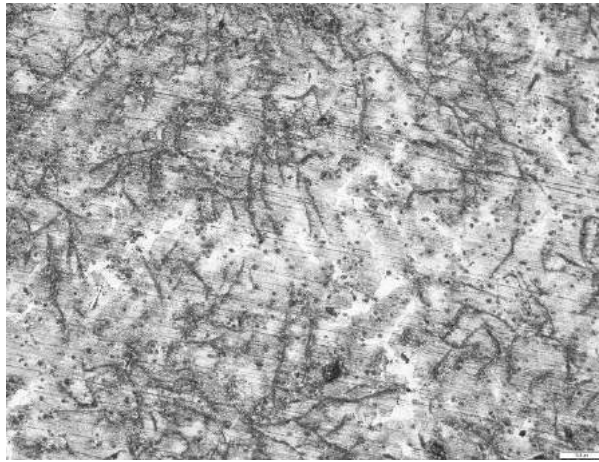
Gambar IV.23. Struktur mikro *base metal* pada titik no.7 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).



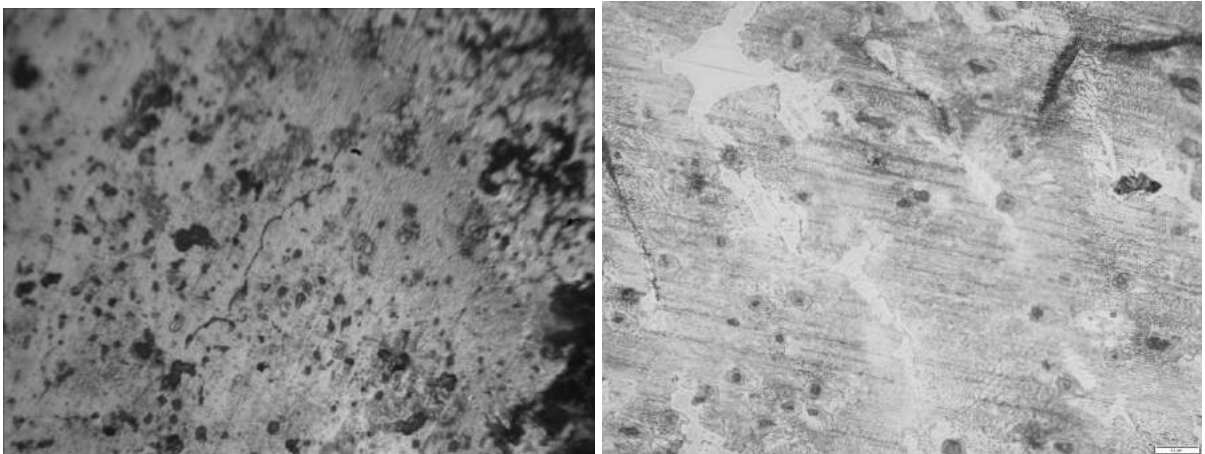
Gambar IV.24. Struktur mikro *base metal* pada titik no.8 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).



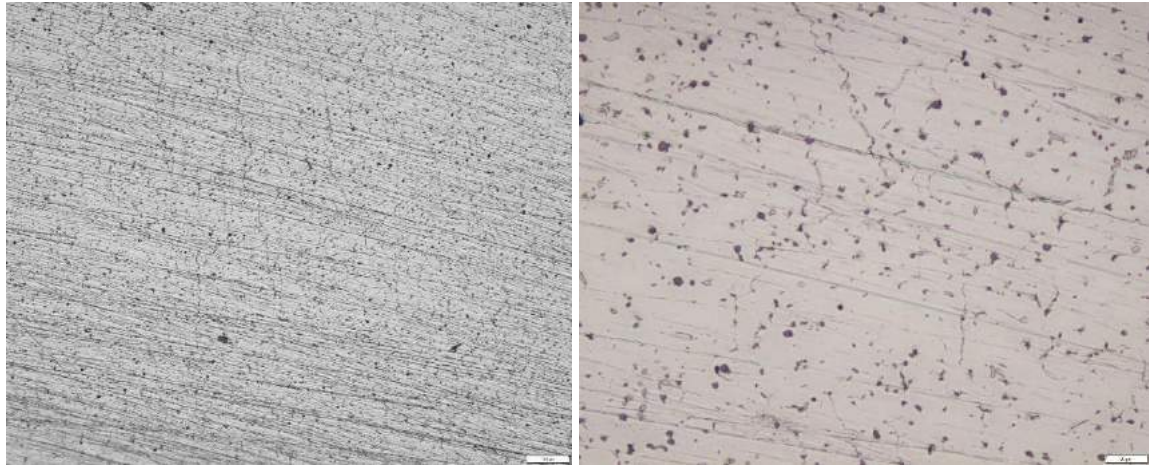
Gambar IV.25. Struktur mikro *base metal* pada titik no.9 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).



Gambar IV.26. Struktur mikro HAZ perbesaran 100x.

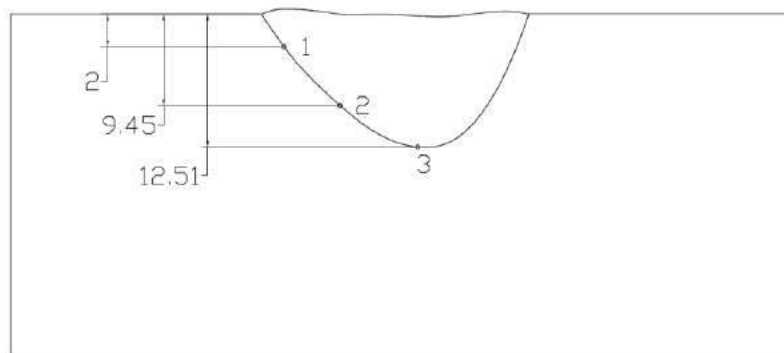


Gambar IV.27. Struktur mikro HAZ perbesaran 400x (kiri) dan 500x (kanan).

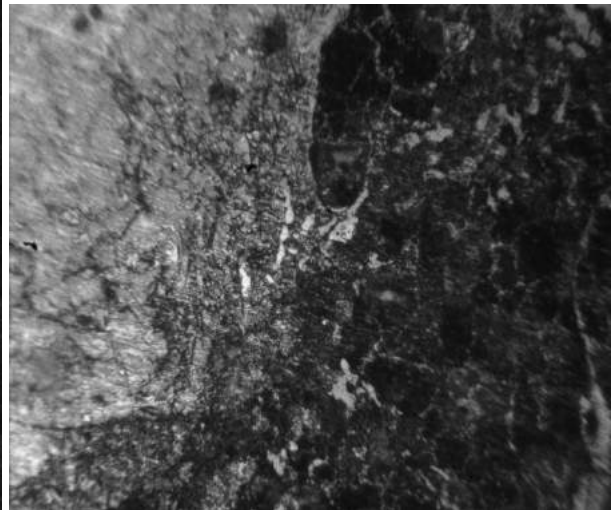
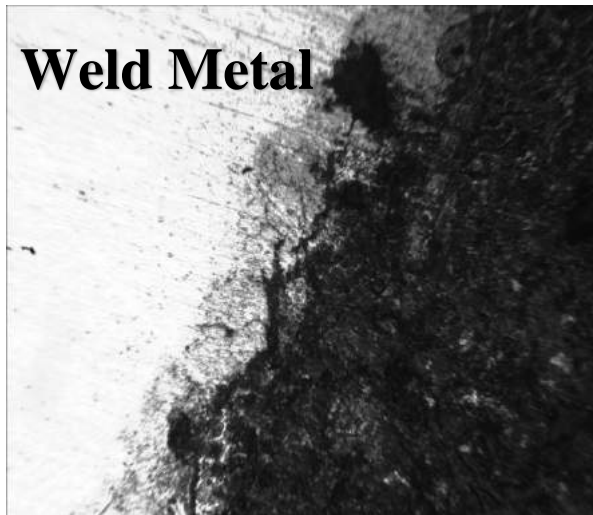


Gambar IV.28. Struktur mikro *weld metal* perbesaran 100x (kiri) dan 500x (kanan).

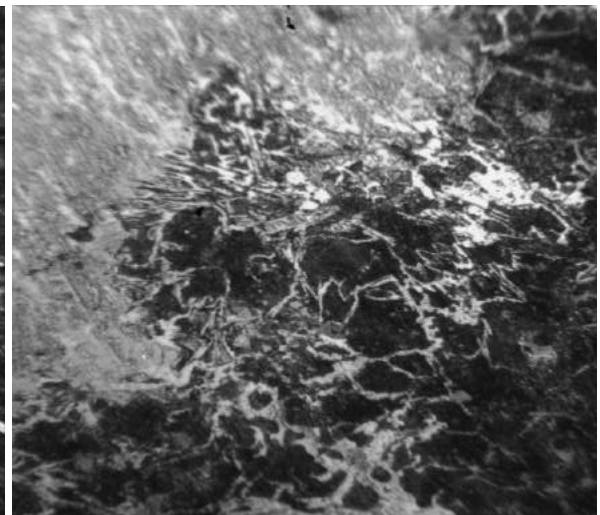
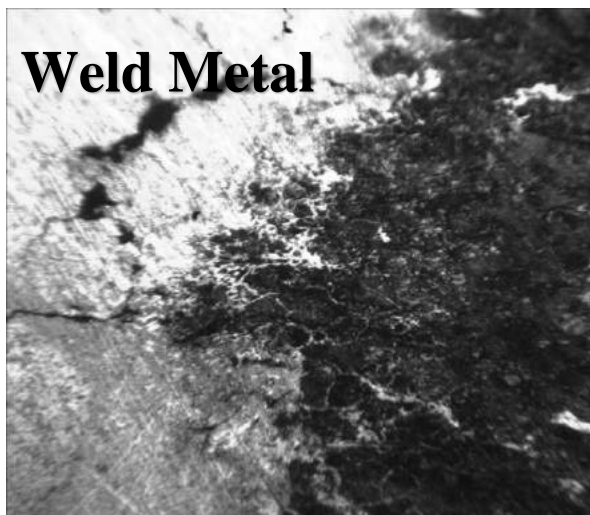
Dari hasil foto mikro dapat dilihat adanya perubahan grafit menjadi tipe-B. Grafit pada *base metal* menjadi berkumpul dan menyebabkan kekuatan dan kekerasannya terpusat di beberapa titik. Hal ini disebabkan karena laju pendinginan yang tinggi. Setelah dilakukan pengelasan juga terdapat *dispersion of fine spheroidized carbide particles* yang berupa butiran pada struktur mikro *base metal* dan HAZ (*Heat Affected Zone*).



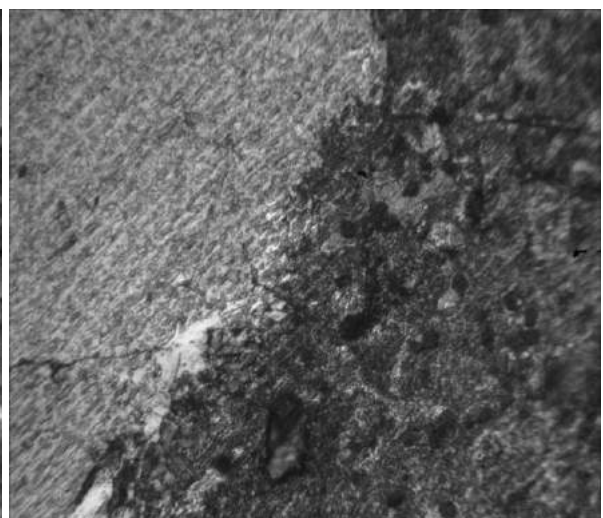
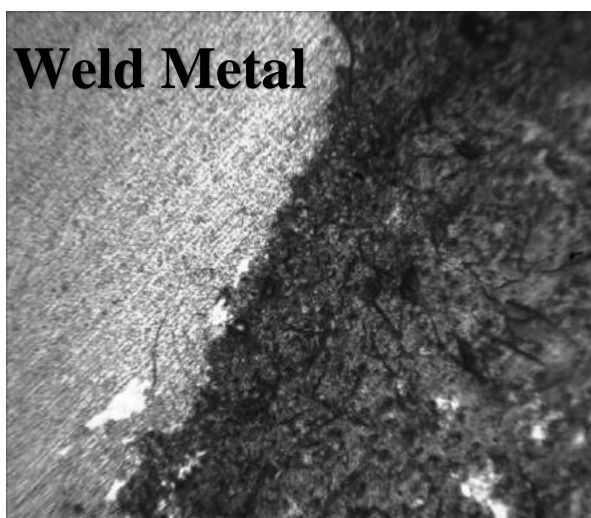
Gambar IV.29. Sketsa letak posisi foto mikro pada *fusion line*.



Gambar IV.30. Struktur mikro *fusion line* titik no.1 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).



Gambar IV.31. Struktur mikro *fusion line* titik no.2 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).

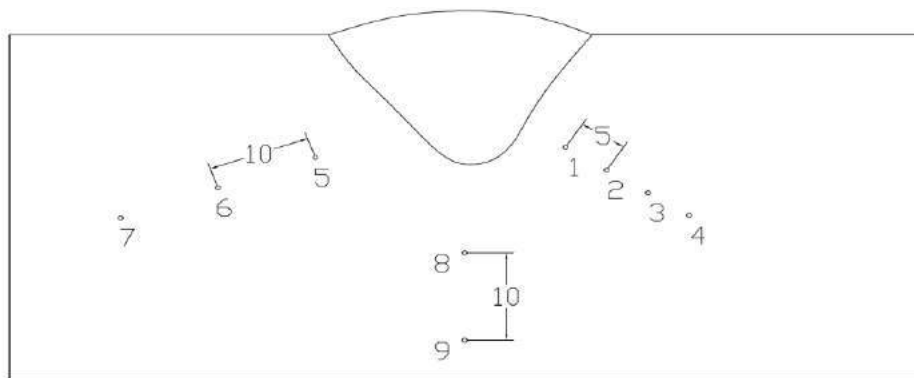


Gambar IV.32. Struktur mikro *fusion line* titik no.3 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).

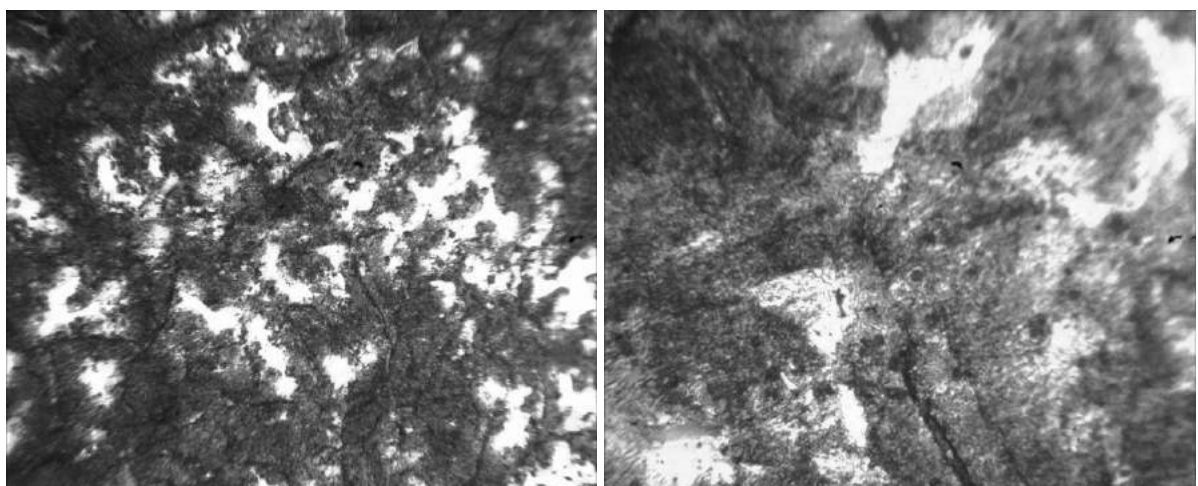
Hasil dari foto mikro pada bagian *fusion line* terlihat daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) sangat kecil. Hal ini dikarenakan adanya kecocokan dari base metal dan elektroda yang digunakan, sehingga daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) yang terbentuk sangat kecil dan kemungkinan untuk terjadinya *crack* sangat sedikit. Dilihat dari gambar IV.31 hasil pengelasan menggunakan elektroda NiCr terlihat *base metal* dan *weld metal* menyatu dengan baik.

IV.3.3. Hasil pengujian foto mikro pada material 2 (E7016)

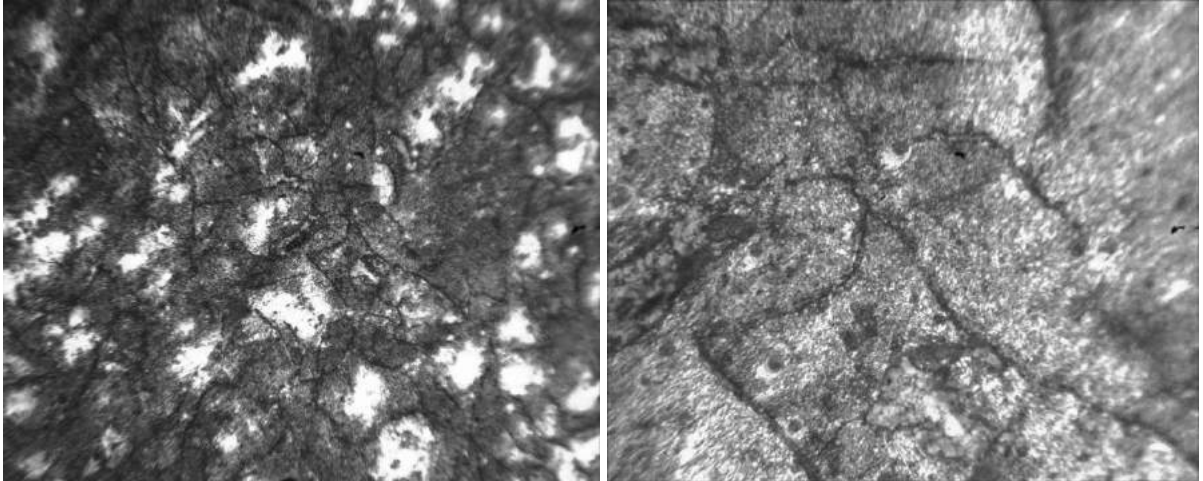
Pengujian struktur mikro dilakukan pada material 2 (E7016) yang sudah dipotong melintang, kemudian di poles hingga grade 2000 dan di etsa dengan menggunakan nital. Pengambilan foto mikro dilakukan pada daerah *base metal* 9 (sembilan) titik, HAZ, Fusion Line, dan *Weld metal*.



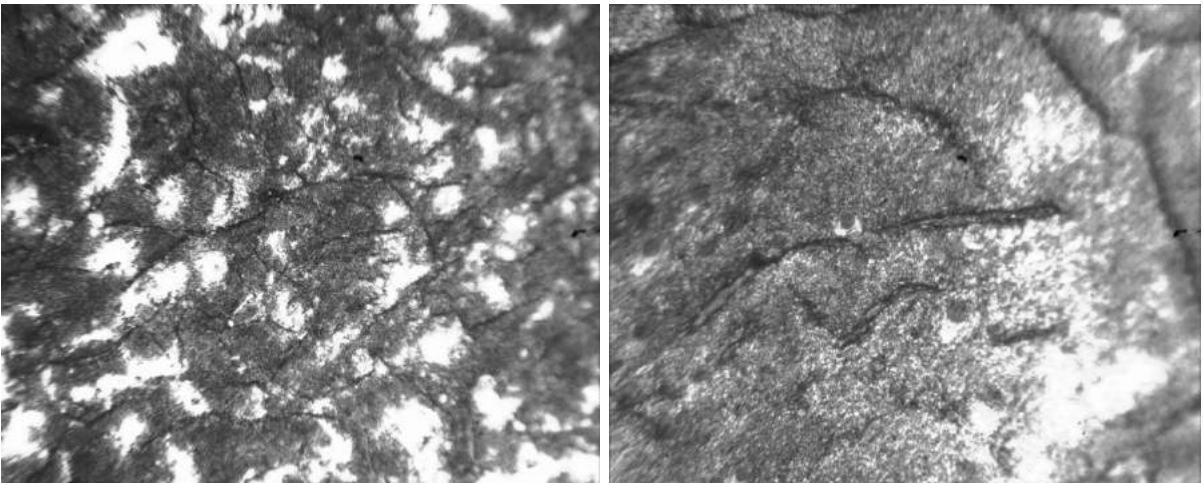
Gambar IV.33. Sketsa letak posisi foto mikro pada *base metal*.



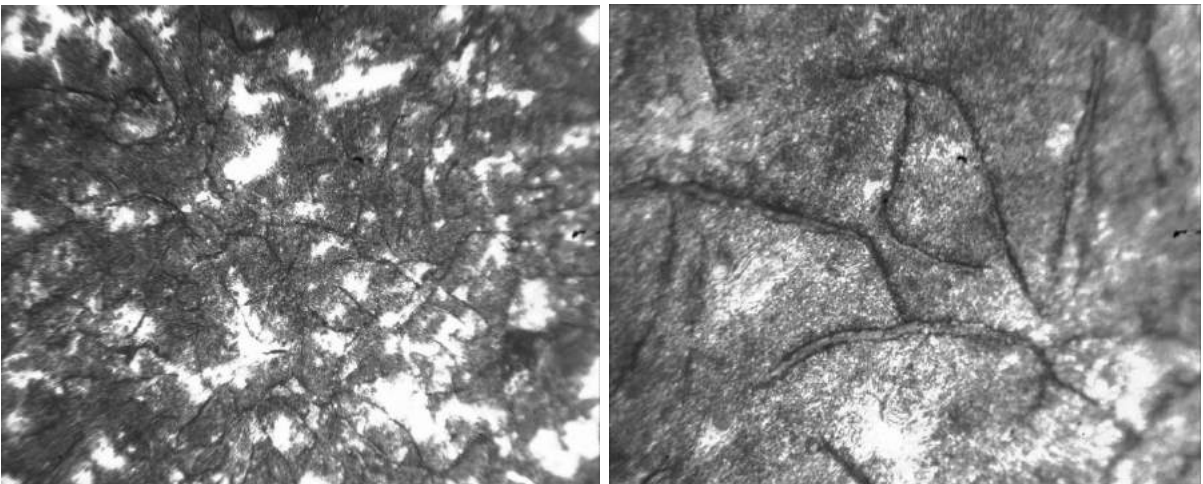
Gambar IV.34. Struktur mikro *base metal* pada titik no.1 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).



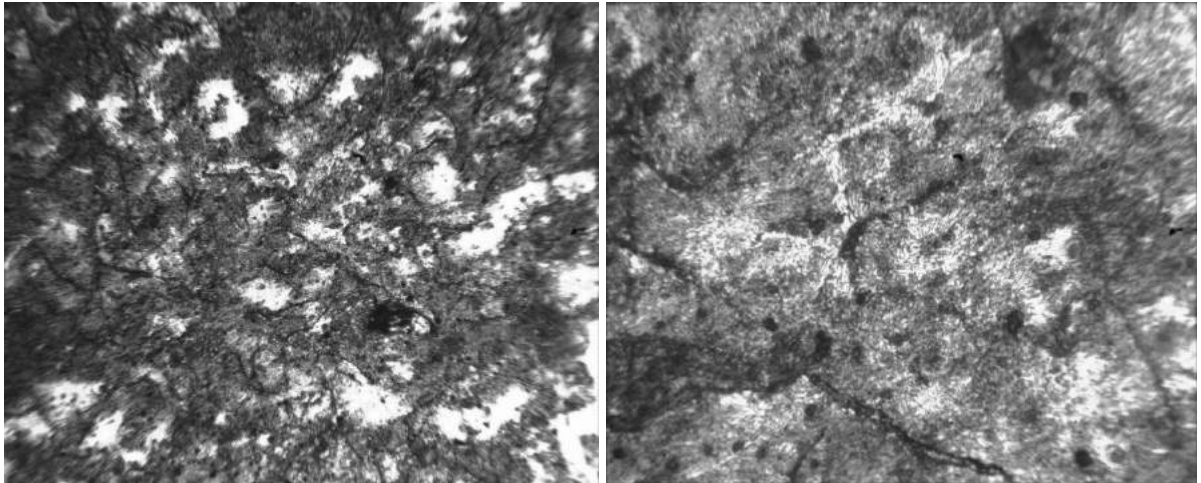
Gambar IV.35. Struktur mikro *base metal* pada titik no.2 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).



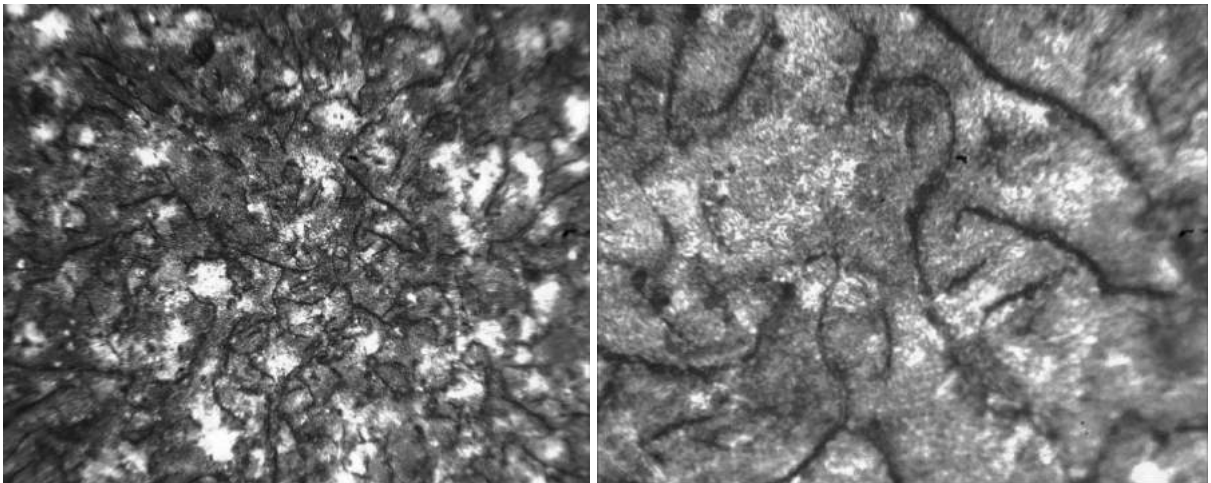
Gambar IV.36. Struktur mikro *base metal* pada titik no.3 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).



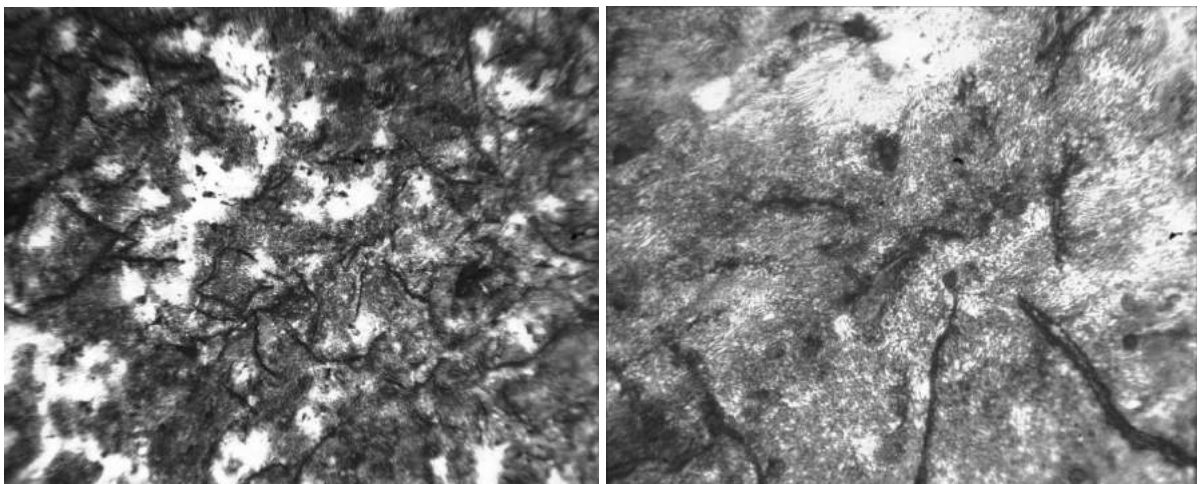
Gambar IV.37. Struktur mikro *base metal* pada titik no.4 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).



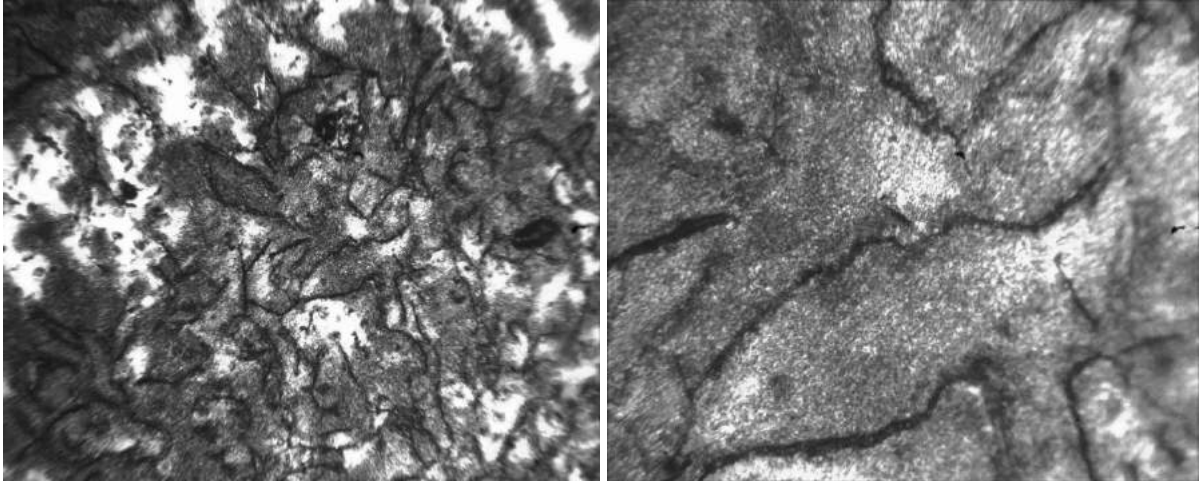
Gambar IV.38. Struktur mikro *base metal* pada titik no.5 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).



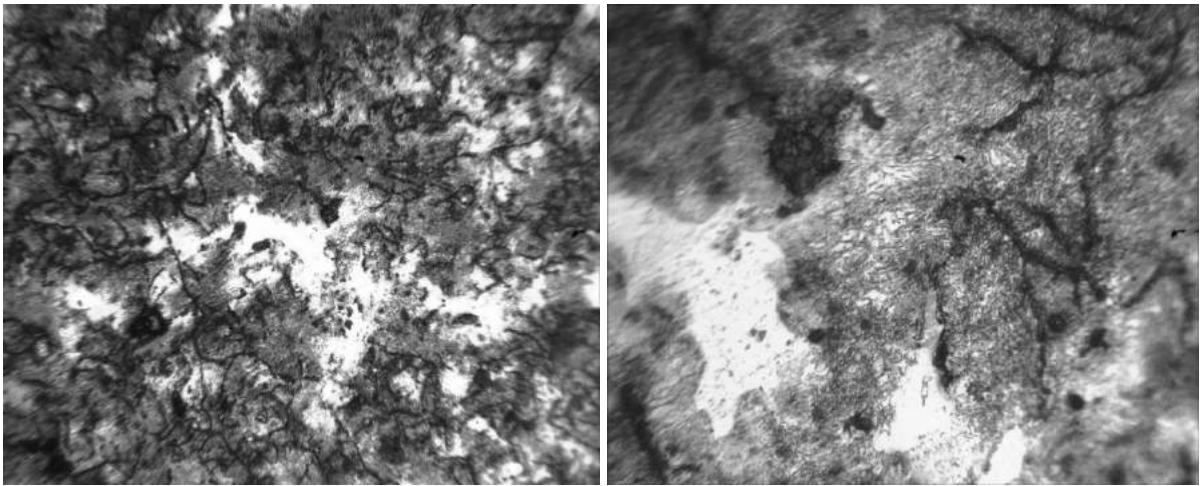
Gambar IV.39. Struktur mikro *base metal* pada titik no.6 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).



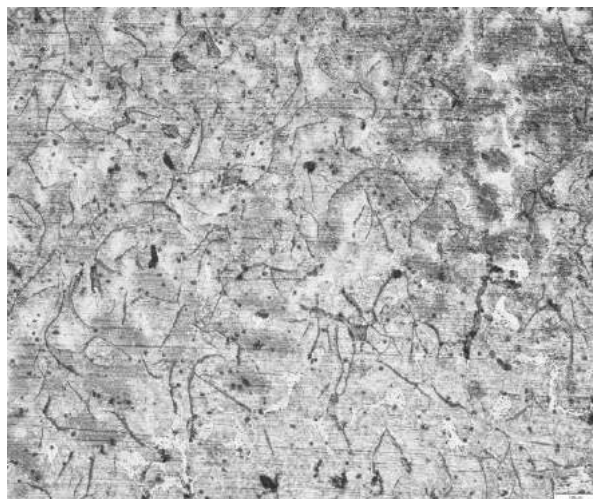
Gambar IV.40. Struktur mikro *base metal* pada titik no.7 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).



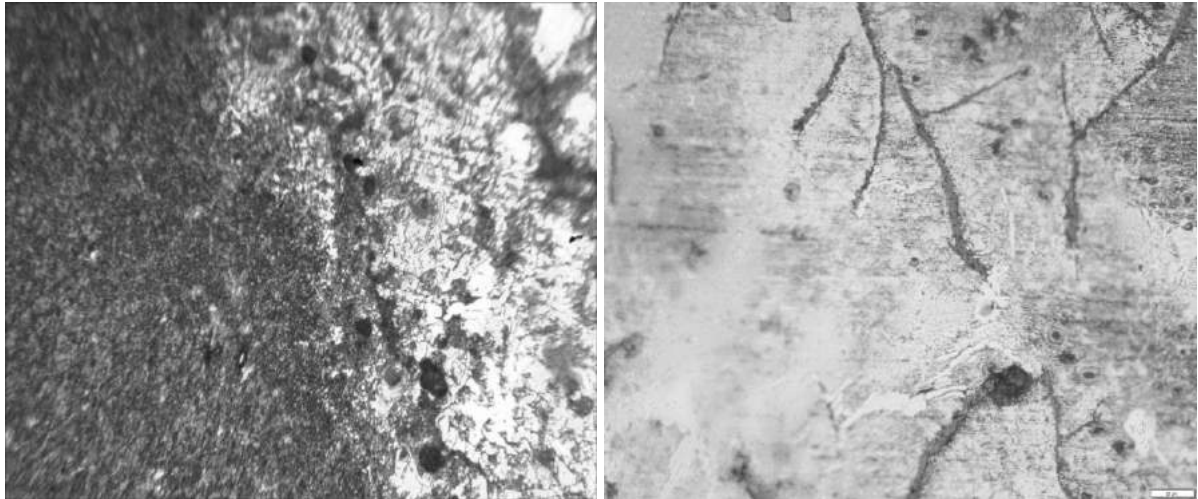
Gambar IV.41. Struktur mikro *base metal* pada titik no.8 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).



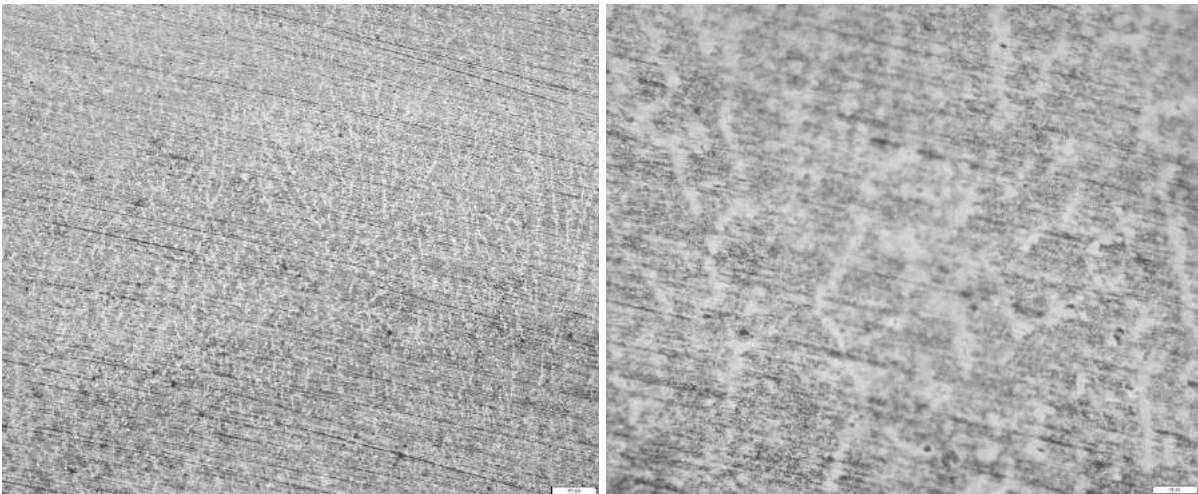
Gambar IV.42. Struktur mikro *base metal* pada titik no.9 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).



Gambar IV.43. Struktur mikro HAZ perbesaran 100x.

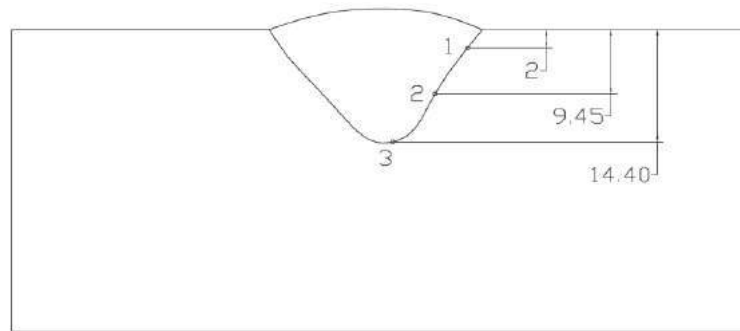


Gambar IV.44. Struktur mikro HAZ perbesaran 400x (kiri) dan 500x (kanan).

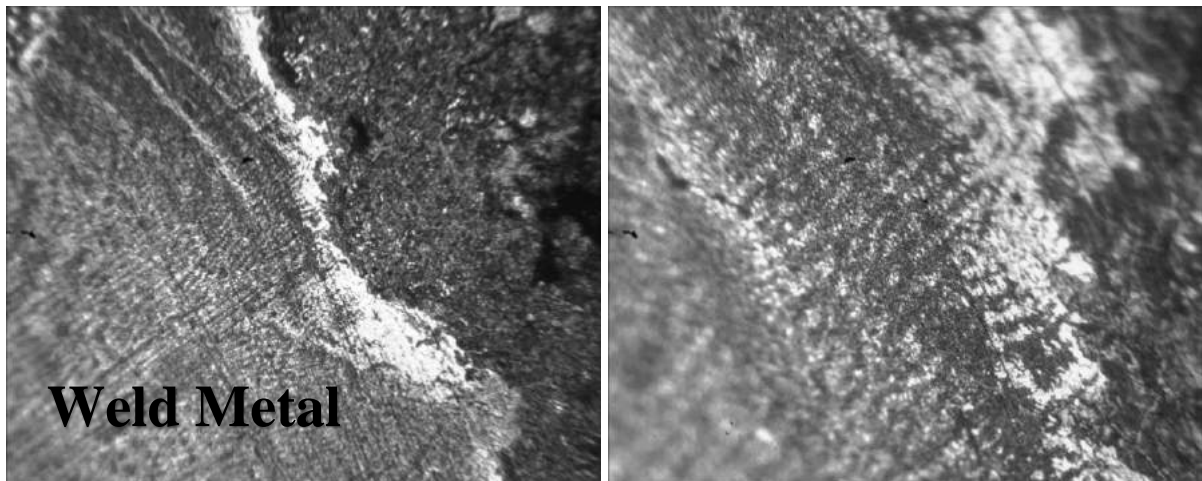


Gambar IV.45. Struktur mikro *weld metal* perbesaran 100x (kiri) dan 500x (kanan).

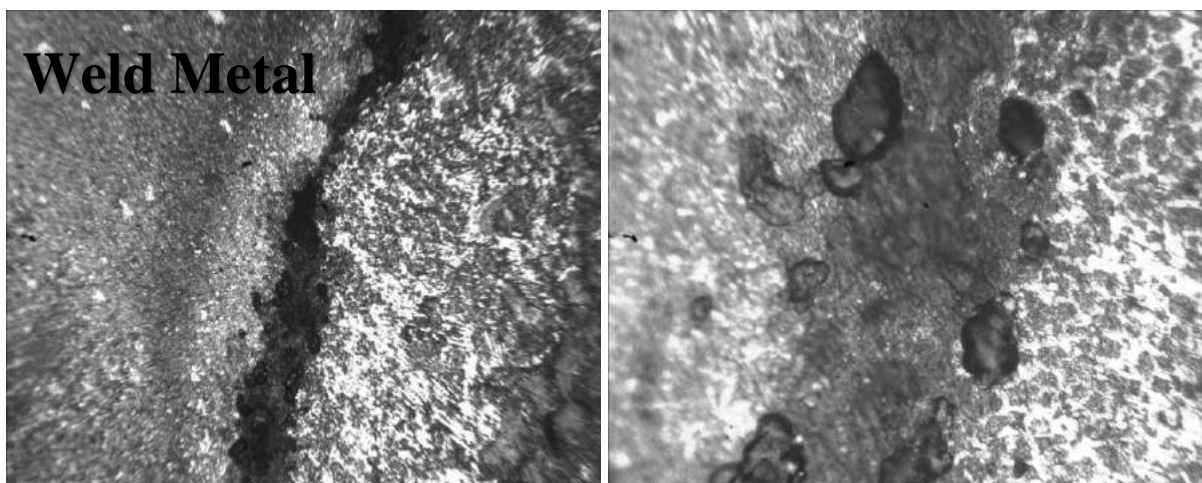
Dari hasil foto mikro dapat dilihat bentuk grafit adalah grafit tipe-A setelah dilakukan pengelasan dan terdapat lebih banyak *dispersion of fine spheroidized carbide particles* yang berupa butiran pada struktur mikro *base metal* dan HAZ (*Heat Affected Zone*). Hal ini disebabkan karena perbedaan arus yang digunakan pada saat pengelasan dan temperatur pada saat pendinginan.



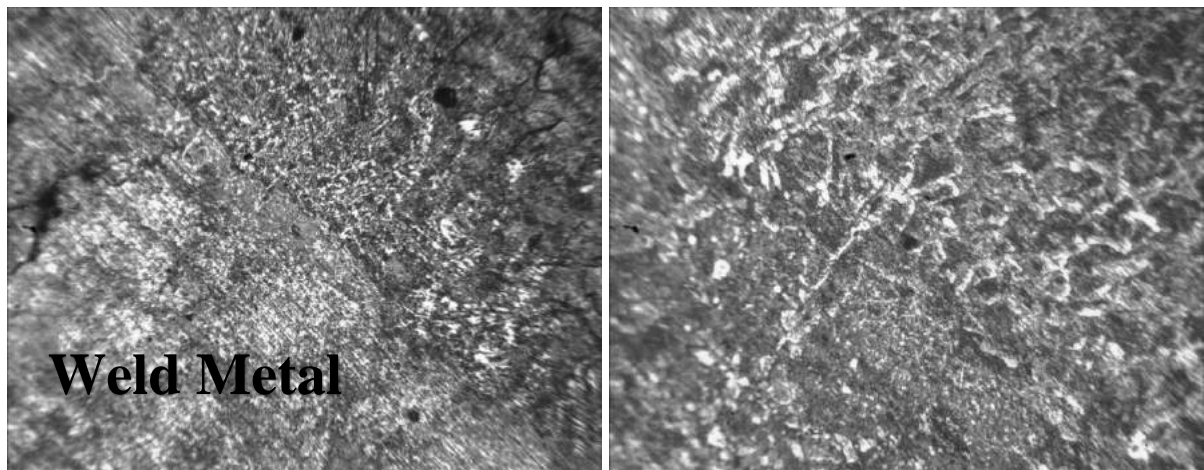
Gambar IV.46. Sketsa letak posisi foto mikro pada *fusion line*.



Gambar IV.47. Struktur mikro *fusion line* titik no.1 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).



Gambar IV.48. Struktur mikro *fusion line* titik no.2 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).



Gambar IV.49. Struktur mikro *fusion line* titik no.3 perbesaran 100x (kiri) dan 400x (kanan).

Hasil dari foto mikro pada daerah *fusion line* terlihat daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) lebih besar dibandingkan dengan hasil pengelasan dengan material 1 (NiCr). Dapat dilihat struktur mikro hasil pengelasan pada *fusion line*, *weld metal* dan *base metal* tidak menyatu dengan sempurna, Hal ini disebabkan karena elektroda E7016 akan menarik karbon yang kemudian menghasilkan deposit karbon yang tinggi dan karena tingginya kadar karbon pada *base metal*, sehingga hasil dari pengelasan memiliki sifat sangat keras, getas dan sensitif terhadap retak.

IV.4. *Fine spheroidized carbide particles*

Fine spheroidized carbide particles terjadi karena *cast iron* mendapat perlakuan panas dibawah suhu eutektoid (sekitar 700°C), maka akan timbul struktur baru yang disebut *spheroidite*. $\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$ (sementit eutektik) muncul dengan bentuk seperti bola karena adanya penambahan difusi karbon tanpa adanya perubahan komposisi pada *ferrite* dan *cementite*. Pembentukan *spheroidite* tidak termasuk dalam *isothermal transformation diagrams*.

Fine spheroidized carbide particles pada hasil foto mikro berupa sementit eutektik yang terbentuk dari transformasi austenit. Unsur carbon pada sementit eutektik sangat tinggi, yaitu maksimal terdapat 6,67% C. Sehingga sementit eutektik memiliki sifat paramagnetik yang dapat mengganggu induksi magnet pada material.

IV.5. Pengaruh terhadap pengujian magnetik partikel

Dapat dilihat terdapat timbulnya *dispersion of fine spheroidized carbide particles* pada material setelah dilakukan pengelasan. *Dispersion of fine spheroidized carbide particles* ini memiliki sifat paramagnetik bahkan bisa menjadi diamagnetik karena *dispersion of fine spheroidized carbide particles* memiliki kandungan karbon yang tinggi. *Dispersion of fine*

spheroidized carbide particles timbul karena struktur *ferrite* dan *cementite* tidak dapat bertransformasi karena perlakuan pemanasannya dibawah suhu *eutectoid*.

Penyebab timbulnya indikasi pada pengujian magnetik partikel yaitu dikarenakan *dispersion of fine spheroidized carbide particles* yang ada pada material. Struktur tersebut dapat mengubah arah gaya magnet pada saat dilakukan pengujian dan menimbulkan indikasi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan percobaan dan penelitian maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. *Dispersion of fine spheroidized carbide particles* yang berupa sementit eutektik timbul setelah dilakukan pengelasan dan struktur ini dapat menyebabkan perubahan arah gaya magnet (*domain wall*) pada pengujian magnetik partikel yang menimbulkan indikasi linier non relevant.
2. *Dispersion of fine spheroidized carbide particles* yang timbul dan perubahan struktur grafit menjadi grafit tipe-B dipengaruhi akibat proses pengelasan, pemanasan, dan pendinginan.
3. *Dispersion of fine spheroidized carbide particles* yang berupa sementit eutektik lebih banyak dihasilkan pada Elektroda E7016 dari pada Elektroda ENiCl, hal ini disebabkan karena adanya perbedaan arus yang digunakan ketika pengelasan yang mengakibatkan perbedaan suhu yang diterima material.
4. Perubahan struktur mikro pada material disebabkan karena distribusi struktur mikro pada material *cast iron* bersifat acak (*random orientation*).
5. Pengaruh pengelasan *build up* berpengaruh pada hasil pengujian magnetik partikel yang disebabkan karena kandungan karbon yang tinggi pada material dan merubah struktur mikro pada saat material mendapat perlakuan panas dan proses pendinginan.

V.2. Saran

Adapun saran untuk penelitian ini adalah :

Penelitian ini tidak melakukan proses *post weld heat treatment (PWHT)* sedangkan untuk merubah struktur mikro yang diinginkan dapat dilakukan proses *post weld heat treatment (PWHT)*. Untuk penelitian selanjutnya bisa dikaju lebih lanjut pengaruh pengelasan *build up* dengan melakukan *post weld heat treatment (PWHT)*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook vol. 9. (2004). *Metallography and Microstructures*, Ohio: America Society of Metal (ASM).
- ASM Handbook vol. 15. (1988). *Casting*, Ohio: America Society of Metal (ASM).
- ASM Metal Handbook – 8th edition vol.7. (1972). *Atlas of Microstructures of Industrial Alloys*, Ohio: America Society of Metal (ASM).
- ASM Handbook vol. 6. (1993). *Welding, Brazing, and Soldering*, Ohio: America Society of Metal (ASM).
- ASM Handbook vol. 5. (1993). *Surface Engineering*, Ohio: America Society of Metal (ASM).
- ASME Boiler & Pressure Vessel Code. (2010). *Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals*, United States of America: The American Society of Mechanical Engineers.
- Avner, Sidney H. (1987). *Introduction to Physical Metallurgy, second edition*, Tokyo: McGraw-Hill International Book Company.
- AWS Welding Handbook vol.4. (1998). *Materials and Applications*, United States: American Welding Society.
- Betz, C.E. (2000). *Principles of Magnetic Particle Testing*. United States of America: Magnaflux.
- BKI Rules, (2013). *Rules for the Classification and Construction Vol. 5*. Jakarta : Biro Klasifikasi Indonesia (BKI).
- Callister, William D. (2006). *Material Science and Engineering*. New york: John Willey & Sons Inc.
- Callister, William D. and Rethwisch, Jr. David G. (2010). *Material Science and Engineering an introduction*, New York: John willey & Sons Inc.
- Campbell, John. (2003). *Castings*, Oxford (UK): Butterworth-Heinemann.
- Dyatmika, IBG. (2012) Analisis Perbandingan Metode *Magnetic Particle Inspection (MPI)* Menggunakan *Yoke* AC dan Permanen Magnet untuk Pendeteksian Panjang Retak Permukaan yang dilapisi *Nonconductive Coating* Pada Sambungan Las di Kapal. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Hellier, Charles. (2003). *Handbook of Nondestructive Evaluation*, Tokyo: McGraw-Hill International Book Company.
- Lovejoy, M.J. (1993). *Magnetic Particle Inspection*. Netherlands: Springer Netherlands.
- Pherigo, G. (1996). *Magnetic Particle Inspection*, New york: McGraw-Hill International Book Company.
- Smilie, R.W. (2000). *Nondestructive Testing, Magnetic Particle (Vol. 1)*. United States of America: PH Diversified, Inc.
- Tumanski, S. (2011). *Handbook of Magnetic Measurements*. United Kingdom: Taylor & Francis Group, LLC.

LAMPIRAN

Lampiran A Hasil uji tarik

Lampiran B *Welding Procedure Specification* (WPS)

Lampiran C *Magnetic Particle testing of weld – Acceptance level* (ISO 23278:2006)

Lampiran D *Microstructure of Cast Irons*

Lampiran E *Rules for Materials*

LAMPIRAN A
HASIL UJI TARIK



Gambar 1. Spesimen Uji Tarik.



Gambar 2. Patahan Spesimen Uji Tarik

REPORT ON TEST RESULT NO. :

/IT2.4.1.1/PM.05.02/20

DATE :
ORDER FROM :
TEST STANDARD : Bkl
MATERIAL SPECS. : Grey Cast Iron
PROJECT :

1. TENSION TEST

NO	CODE MATERIAL	SPECIFICATION SAMPLE				TENSILE TEST RESULTS				REMARK
		WIDTH	THICK	DIA.	CSA	YIELD STRESS	ULTIMATE STRESS	ELONGATION	REDUCT. of AREA	
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(MPa)	(MPa)	(%)	(%)	
	1			14.24	159,261	175,012	200,928	2,342	0,841	
	2			14,27	159,932	172,431	200,647	2,142	0,280	
NO	F. YIELD		F. ULTIMATE		Lo	L1	D1/Wd.1	Th.1	A1	
	KN	N	KN	N						
	28	28000	32	32000	70	71,69	14,18			157,921
	27.5	27500	32	32000	70	71,5	14,23			159,037
Witnessed by :						The Laboratory Of Ships Strength And Construction FT. Kelautan ITS				
1.						Tester				
2.										
3.										
4.										
5.										

Skala 100

$$F_a = 30 \text{ kN}$$

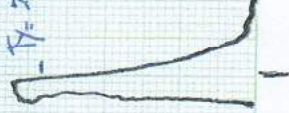
$$F_y = 27,5 \text{ kN}$$



Skala 200

$$F_a = 30 \text{ kN}$$

$$F_y = 28 \text{ kN}$$



LAMPIRAN B
WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)
SECTION IX, ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)

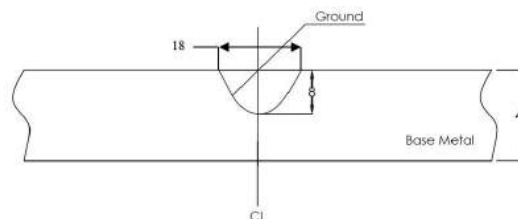
Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code

Company Name	: Rizky	Date	: 6 Mei, 2017
WPS No.	: 01/WPS-CS/TA/ASME 2018	Date	: -
Supporting PQR No.	: -	Date	: -
Revision No.	: -	Date	: -
Welding Process(es)	: SMAW	Type(s)	: Manual

JOINTS (QW-402)

Joint Design	: Build up
Backing Material	: N/A
Backing Material (Type)	: N/A
() Metal	() Nonfusing Metal
() Nonmetallic	() Others

Details



BASE METALS (QW-403)

P-No : -	Group No. : -	to P-No : -	Group No. : -
Specification Type and Grade	: Cast Iron	To Specification Type and Grade	: Cast Iron
Chem. Analysis and Mech. Prop.	: N/A	to Chem. Analysis and Mech. Prop.	: N/A
Thickness Range :			
Base Metal : -	Grove : -	Fillet	: All
Plate Thickness Range	: 4 - 20mm	Fillet	: N/A
Others	N/A		

FILLER METALS (QW-403)

SpesificationNo. (SFA)	: A5.15
AWS No. (Classification)	: E NiCI for Filler and root
F-No.	: -
A-No.	: -
Size of Filler Metals	: 2.6 - 4.0 mm
Weld Metal	
Thickness Range :	Groove : Max
Fillet	: All
Electrode-Flux (Class)	: N/A
Flux Trade Name	: N/A
Consummable Insert	: N/A
Others	: N/A

POSITION (QS-405)

Position(s) of Groove	: Down Hand
Welding Progression	: See Joint Detail

PREHEAT (QW-406)

Preheat temperature min. (°C)	: Min 150
Interpass Temperature (°C)	: 121 - 425
Preheat Maintenance	: -

POST WELD HEAT TREATMENT (QW-407)

Temperature Range : -

Time Range : -

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)

Current AC or DC : DC

Polarity : DCEP

Amperage (range) : 100 - 165 A

Voltage (range) : 22 - 28 V

TECHNIQUE (QW-410)

String or Weave Bead : String Bead

Multiple or Single Pass (per-side) : Multiple

Orifice or Gas Cup Size : N/A

Multiple or Single Electrodes : Multiple

Initial and Interpass Cleaning : Chipping , Brushing
and Grinding

Travel Speed : -

Peening : N/A

Method of Back Gauging : N/A

Others : N/A

Weld Layer(s)	Process	Filler Metal		Current		Voltage Range (V)	Others
		Class	Diameter (mm)	Type of Polarity	Amp. Range		
1st	SMAW	E NiCl	3.2	DCEP	100-165	22-28	N/A
2nd	SMAW	E NiCl	3.2	DCEP	100-165	22-28	N/A
3rd	SMAW	E NiCl	3.2	DCEP	100-165	22-28	N/A
4th	SMAW	E NiCl	3.2	DCEP	100-165	22-28	N/A
5th	SMAW	E NiCl	3.2	DCEP	100-165	22-28	N/A

WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)

Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code

Company name	Industry	Material	Welding Process(es)	Welding Position	Welding Rate	Welding Time	Welding Type(s)	Welding Manual
0.	02	A A	20	ate	ei, 20	ate	ate	ate
upporting	o.			ate				
ision	o.			ate				
elding	rocess(es)	A		ype(s)	anual			

JOINTS (QW-402)	Details
Joint Design: Butt weld Backing Material: A Backing Material (Type): A () Metal () Nonmetallic () Nonfusing Metal () Others	

BASE METALS (QW-403)
Specification Type and Grade: A Chem. Analysis and Mech. Prop.: A Thickness Range: 20 mm Base Metal: U Fillet: All Fillet: A Others: A

FILLER METALS (QW-403)	POSITION (QS-405)
Specification (FA): A A (Classification): 0 for Filler and root F o. A o. i e of Filler Metals: 2. 0 mm eld Metal hickness Range: 00 e Fillet: All Electrode Flux (Class): A Flux Grade Name: A Consumable Insert: A Others: A	Position(s) of Welding: own Hand Welding Progression: ee Joint Detail

PREHEAT (QW-406)
Preheat Temperature (°): min 0 Interpass Temperature (°): 2 2 Preheat Maintenance:

POST WELD HEAT TREATMENT (QW-407)	
temperature	ange
ime	ange

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)	
Current A or	
olarity	
Amperage (range)	0 2 A
voltage (range)	2

TECHNIQUE (QW-410)			
tring or ea e Bead	ea e Bead	ultiple or ingle ass (per side)	: Multiple
rifice or as up i e	A	ultiple or ingle lectrodes	: Multiple
nitial and nterpass leaning	hipping , Brushing	ra el speed	: -
	and rinding	eening	: N/A
ethod of Back auging	A	thers	: N/A

[illegible]

LAMPIRAN C
NON DESTRUCTIVE TESTING OF WELDS – MAGNETIC
PARTICLE TESTING OF WELDS – ACCEPTANCE
(ISO 23278:2006)

Non-destructive testing of welds — Magnetic particle testing of welds — Acceptance levels (ISO 23278:2006)

ICS 25.160.40

NO COPYING WITHOUT BSI PERMISSION EXCEPT AS PERMITTED BY COPYRIGHT LAW

Copyright British Standards Institution
Provided by IHS under license with BSI - Uncontrolled Copy
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Licensee=Black & Veatch (Overland Park, KS)5910842100
Not for Resale, 01/14/2010 04:01:21 MST

BSi
British Standards

National foreword

This British Standard is the UK implementation of EN ISO 23278:2009. It is identical to ISO 23278:2006. It supersedes BS EN 1291:1998 which is withdrawn.

The UK participation in its preparation was entrusted to Technical Committee WEE/46, Non-destructive testing.

A list of organizations represented on this committee can be obtained on request to its secretary.

This publication does not purport to include all the necessary provisions of a contract. Users are responsible for its correct application.

Compliance with a British Standard cannot confer immunity from legal obligations.

This British Standard was published under the authority of the Standards Policy and Strategy Committee on 31 January 2010.

© BSI 2010

ISBN 978 0 580 66703 9

Amendments/corrigenda issued since publication

Date	Comments

English Version

Non-destructive testing of welds - Magnetic particle testing of welds - Acceptance levels (ISO 23278:2006)

Contrôle non destructif des assemblages soudés - Contrôle par magnétoscopie des soudures - Niveaux d'acceptation (ISO 23278:2006)

Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Magnetpulverprüfung von Schweißverbindungen - Zulässigkeitsgrenzen (ISO 23278:2006)

This European Standard was approved by CEN on 24 October 2009.

CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration. Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the CEN Management Centre or to any CEN member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN member into its own language and notified to the CEN Management Centre has the same status as the official versions.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Bulgaria, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.



EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG

Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels

Foreword

The text of ISO 23278:2006 has been prepared by Technical Committee ISO/TC 44 "Welding and allied processes" of the International Organization for Standardization (ISO) and has been taken over as EN ISO 23278:2009 by Technical Committee CEN/TC 121 "Welding" the secretariat of which is held by DIN.

This European Standard shall be given the status of a national standard, either by publication of an identical text or by endorsement, at the latest by May 2010, and conflicting national standards shall be withdrawn at the latest by May 2010.

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this document may be the subject of patent rights. CEN [and/or CENELEC] shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

This document supersedes EN 1291:1998.

According to the CEN/CENELEC Internal Regulations, the national standards organizations of the following countries are bound to implement this European Standard: Austria, Belgium, Bulgaria, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland and the United Kingdom.

Endorsement notice

The text of ISO 23278:2006 has been approved by CEN as a EN ISO 23278:2009 without any modification.

Foreword

ISO (the International Organization for Standardization) is a worldwide federation of national standards bodies (ISO member bodies). The work of preparing International Standards is normally carried out through ISO technical committees. Each member body interested in a subject for which a technical committee has been established has the right to be represented on that committee. International organizations, governmental and non-governmental, in liaison with ISO, also take part in the work. ISO collaborates closely with the International Electrotechnical Commission (IEC) on all matters of electrotechnical standardization.

International Standards are drafted in accordance with the rules given in the ISO/IEC Directives, Part 2.

The main task of technical committees is to prepare International Standards. Draft International Standards adopted by the technical committees are circulated to the member bodies for voting. Publication as an international Standard requires approval by at least 75 % of the member bodies casting a vote.

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this document may be the subject of patent rights. ISO shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

ISO 23278 was prepared by the European Committee for Standardization (CEN) Technical Committee CEN/TC 121, *Welding* (as EN 1291:1998 and its Amd.1:2002 and Amd.2:2003), and was adopted, under a special "fast-track procedure", by Technical Committee ISO/TC 44, *Welding and allied processes*, Subcommittee SC 5, *Testing and inspection of welds*, in parallel with its approval by the ISO member bodies.

This document constitutes a consolidated version.

Requests for official interpretations of any aspect of this International Standard should be directed to the Secretariat of ISO/TC 44/SC 5 via your national standards body. A complete listing of these bodies can be found at <http://www.iso.org>.

Non-destructive testing of welds — Magnetic particle testing of welds — Acceptance levels

1 Scope

This International Standard specifies acceptance levels for indications from imperfections in ferromagnetic steel welds detected by magnetic particle testing.

The acceptance levels are primarily intended for use during manufacture examination, but where appropriate they can be used for in-service inspection.

The acceptance levels in this International Standard are based on detection capabilities that can be expected when using techniques specified in ISO 17638 and parameters recommended in Annex A. The acceptance levels can be related to welding standards, application standards, specifications or codes. Such a relationship is shown in ISO 17635 for ISO 5817.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

ISO 5817, *Welding — Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) — Quality levels for imperfections*

ISO 17635, *Non-destructive testing of welds — General rules for fusion welds in metallic materials*

ISO 17638, *Non-destructive testing of welds — Magnetic particle testing*

ISO/TS 18173, *Non-destructive testing — General terms and definitions*

EN 1330-2, *Non-destructive testing — Terminology — Part 2: Terms common to the non-destructive testing methods*

EN 1330-7, *Non-destructive testing — Terminology — Part 7: Terms used in magnetic particle testing*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in ISO/TS 18173, EN 1330-2 and EN 1330-7 and the following apply.

3.1

linear indication

indication having a length greater than three times its width

3.2

non-linear indication

indication having a length less than or equal to three times its width

4 Testing parameters

Many parameters, either individually or in combination, will affect the ability of a technique to detect imperfections of a given size and orientation with respect to the condition of the test surface.

Detection of small imperfections is highly dependent on the surface condition of the weld and the detection media used. Examples of the application of these parameters to give a high probability of detection are given in Annex A.

5 Acceptance levels

5.1 General

The width of the test surface shall include the weld metal and the adjacent parent metal up to a distance of 10 mm on each side.

Acceptance levels prescribed for linear indications are those corresponding to the evaluation level. Indications lower than this shall not be taken into account. Normally, acceptable indications shall not be recorded.

Local grinding may be used to improve the classification of all or just part of a test surface, when it is required to work to a higher detection limit than that expected by the existing weld surface condition.

Acceptance levels are given in Table 1.

Table 1 — Acceptance levels for indications

Dimensions in millimetres

Type of indication	Acceptance level ^a		
	1	2	3
Linear indication <i>l</i> = length of indication	$l \leq 1,5$	$l \leq 3$	$l \leq 6$
Non-linear indication <i>d</i> = major axis dimension	$d \leq 2$	$d \leq 3$	$d \leq 4$

^a Acceptance levels 2 and 3 may be specified with a suffix "X" which denotes that all linear indications detected shall be assessed to level 1. However the probability of detection of indications smaller than those denoted by the original acceptance level can be low.

5.2 Grouped indications

Any adjacent indications separated by less than the major dimension of the smaller shall be assessed as a single, continuous indication.

Grouped indications shall be evaluated in accordance with application standards.

5.3 Removal of imperfections

Where the product specification permits, local grinding may be used to reduce or remove imperfections which are the cause of unacceptable indications. All such areas shall be re-tested and evaluated with the same magnetic system and technique.

Annex A (informative)

Recommended testing parameters

Recommended testing parameters for reliable detection of small imperfections are given in Table A.1. The surfaces are in the as-welded condition. It can be necessary to improve the surface condition, e.g. by abrasive paper or local grinding, to permit accurate interpretation of indications. The detection media are given in order of preference.

Table A.1 — Recommended testing parameters

Acceptance level	Surface condition	Detection media
1	Fine surface ^a	Fluorescent or colour contrast with contrast aid
2	Smooth surface ^b	Fluorescent or colour contrast with contrast aid
3	General surface ^c	Colour contrast with contrast aid or fluorescent

^a The weld cap and parent material offer smooth clean surfaces with negligible undercut, rippling and spatter. The surface finish is typical of welds, made by automatic TIG-welding; submerged arc welding (fully mechanized) and manual metal arc welding with iron powder electrodes.

^b The weld cap and parent material offer reasonably smooth surfaces with minimal undercut, rippling and spatter. The surface finish is typical of welds made by manual metal arc welding vertical downwards and MAG-welding using argon rich gas for the capping runs.

^c The weld cap and parent material are in the as-welded condition. The surface finish is typical of welds made by manual metal arc welding or MAG-welding in any position.

LAMPIRAN D
MICROSTRUCTURE OF CAST IRON
ATLAS OF MICROSTRUCTURES OF INDUSTRIAL ALLOYS

Microstructure of Cast Irons

By the ASM Committee on Metallography of Cast Irons*

CONTENTS

Gray Iron	82	Abrasion-Resistant Cast Iron ..	99
Ductile Iron	88	Corrosion-Resistant Cast Iron ..	99
Malleable Iron	95	Heat-Resistant Cast Iron	100

THE GENERAL TERM "cast iron" includes gray iron, ductile iron, chilled iron, white iron and malleable iron. All are high-carbon, high-silicon alloys, usually containing 1.7 to 4.5% carbon.

Gray iron contains graphite in the form of flakes, which are dispersed in a matrix that normally is pearlitic. The addition of approximately 15% nickel produces an austenitic matrix.

Ductile iron, also known as nodular iron, is cast iron to which magnesium or other elements that cause the graphite to form nodules (spherulites) have been added to the melt.

Chilled iron is produced by casting gray or ductile iron against a metal or graphite chill, resulting in a surface zone (white layer) that is virtually free of graphitic carbon.

White iron, which is virtually free of graphite throughout the casting, is obtained by selecting the composition of the alloy so that graphitization will be inhibited for the desired section size.

Malleable iron is the result of annealing white iron castings of appropriate composition, to convert the carbon that is combined in the cementite (Fe_3C) to elemental carbon (graphite) in the form of temper-carbon nodules.

Classification. Graphitic cast irons, including those that contain small amounts of alloying elements, are classified as gray, ductile and malleable according to graphite shape and method of graphite production. More highly alloyed graphitic and white irons are classified by their use requirements as abrasion-resistant, corrosion-resistant and heat-resistant. These six classifications are discussed in the paragraphs that follow. For more detailed information on specifications, properties, microstructure and heat treatment of these cast irons, the reader is referred to the articles on pages 349 to 406 in Volume 1, and on pages 203 to 220 in Volume 2, of this Handbook.

Gray Iron. The basic structure of gray iron can be altered by the cooling rate during casting. Cooling too fast produces mottled iron, which has some free cementite; very slow cooling of gray iron with a high silicon content is likely to produce some free ferrite.

Gray iron is classified in ASTM A48 according to the minimum tensile strength of separately cast test bars; for example, class 20A refers to a test bar of size A (0.88-in. nominal diameter) having minimum tensile strength of 20,000 psi (138 MPa). Other specifications cover particular products.

Ductile iron normally has an as-cast microstructure of graphite nodules (spherulites), which are surrounded by free ferrite (bull's-eye structure), in a matrix of pearlite. Occasionally, the microstructure includes some free cementite. Annealing produces secondary graphite, surrounding the primary graphite nodules, and a ferrite matrix. Ductile iron having a ferrite matrix as-cast can be produced by using special melt-inoculation techniques. The addition of approximately 15% nickel produces an austenitic matrix.

Ductile iron is classified in ASTM A536 according to properties; for example, grade 60-40-18 refers to separately cast test coupons with minimum properties of 60,000-psi (414-MPa) tensile strength, 40,000-psi (276-MPa) yield strength, and 18% elongation in 2 in. ASTM A439 classifies eight austenitic ductile irons according to composition and mechanical properties.

Malleable iron can be either ferritic ("standard") or pearlitic, depending on the annealing process used to convert the white iron casting to graphitic iron. Ferritic malleable iron requires a two-stage annealing process. Pearlitic malleable iron may be produced by rapid cooling after the first-stage anneal and then either: (a) tempering; or (b) reheating, quenching, and tempering.

ASTM A47, covering ferritic malleable iron, and A220, covering pearlitic, assign five-digit designations; the first three digits are minimum yield strength in 100 psi, and the last two are minimum elongation (% in 2 in.), of separately cast test bars. ASTM A602, covering both ferritic and pearlitic, assigns an "M" and four digits; the first two digits are typical yield strength in 1000 psi, and the last two are typical elongation (% in 2 in.) of test specimens cut from actual cast parts.

Abrasion-resistant cast iron comprises gray iron that has been cast against a chill set at the area of the surface requiring the abrasion resistance, and white iron (which may or may not be cast against a chill). The microstructure may be pearlitic or martensitic. ASTM A532 covers three types of abrasion-resistant martensitic white iron: type I (Ni-Cr), type II (Cr-Mo) and type III (high-Cr).

Corrosion-resistant cast irons comprise high-silicon and high-chromium gray and white irons and high-nickel austenitic gray and ductile irons. Some of the gray irons are covered by ASTM A518 and A436.

Heat-resistant cast irons include silicon gray and ductile irons, chromium gray (see ASTM A319) and white irons, and high-nickel austenitic gray (see ASTM A436) and ductile irons.

Graphite found in cast irons is classified in ASTM A247. Form types I to VI are nodules; type VII is flake form. Distribution and orientation types are lettered A to E (see page 82). Size numbers range from 1 (largest) to 8.

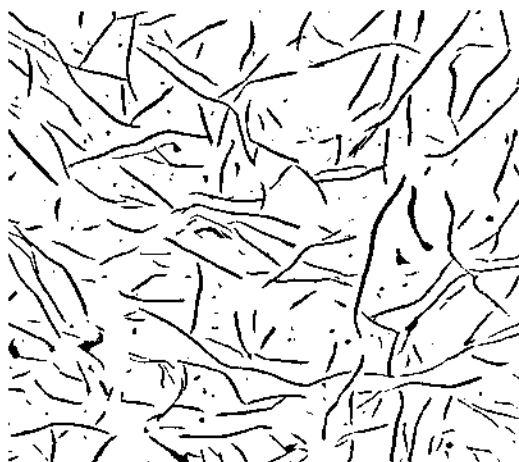
The nodules found in malleable iron have been classified by the Malleable Research and Development Foundation. MRDF shape numbers range from 1 to 7 (shape 3 is normal); some shapes are shown on page 95. Distribution numbers range from 1 (random) to 5. Size numbers range from 1 (smallest) to 5.

*ROBERT F. MEHL, *Chairman*, Professor Emeritus, Carnegie-Mellon University; P. B. BURGESS, Controls Manager, Albion Malleable Div., Hayes-Albion Corp.; CHARLES K. DONOHO (deceased), formerly Technical Director, American Cast Iron Pipe Co.; THOMAS R. DREWS, Principal Metallographer, Materials Div., Engineering Research, International Harvester Co.; ROBERT GRINDAHL, Senior Research Engineer, Central Foundry Div., General Motors Corp.

HAROLD GUINA, Supervisor, Metallographic Laboratory, Central Laboratory, Ford Motor Co.; HARVEY E. HENDERSON, Technical Director, Lynchburg Foundry Co., Woodward Co. Div., Mead Corp.; RAJ DHARMARAJAN IYER, Research Metallurgist, Kaloy Inc., Subsidiary of International Rectifier Corp.; ROBERT W. KLANN, Materials Engineering Dept.,

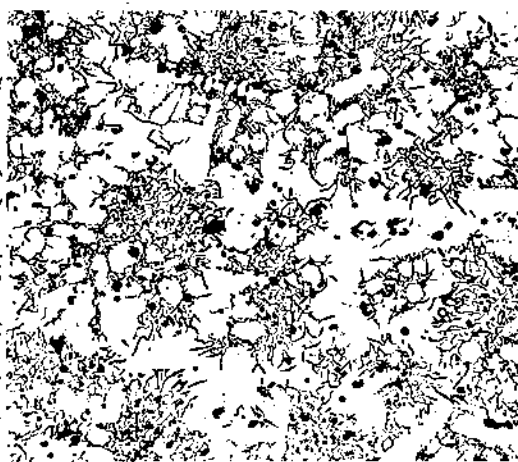
Deere & Co.; J. J. MANGANELLO, Materials Engineering Office, Product Planning and Development Staff, Chrysler Corp.; THOMAS H. MARTIN, JR., Metallographer, Ross-Meehan Foundries; RONALD C. MEINDL, Plant Metallurgist, Mapleton Plant, Caterpillar Tractor Co.; J. R. MIHALISIN, Metallurgist, Welded Carbide Tool Co. (formerly with International Nickel Co., Inc.); EDWARD F. RYNTZ, JR., Associate Senior Research Metallurgist, General Motors Research Laboratories, General Motors Corp.

ROBERT THOMPSON, Chief Metallurgist, Dominion Engineering Works Ltd.; LARRY B. WHITE, Quality Control Manager, Dalton Precision Div., Dalton Foundries (formerly Plant Metallurgist, Campbell, Wyant & Cannon Foundry Co. Div., Textron, Inc.); HOWARD E. BOYER, *Secretary*, Managing Editor, Metals Handbook.



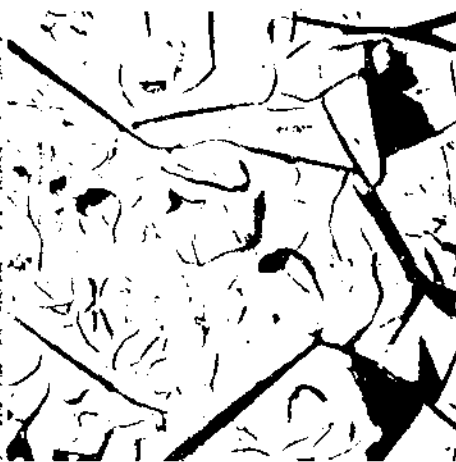
As polished (not etched) 100×

645 Type A distribution of graphite flakes in gray iron, characterized by uniform distribution and random orientation.



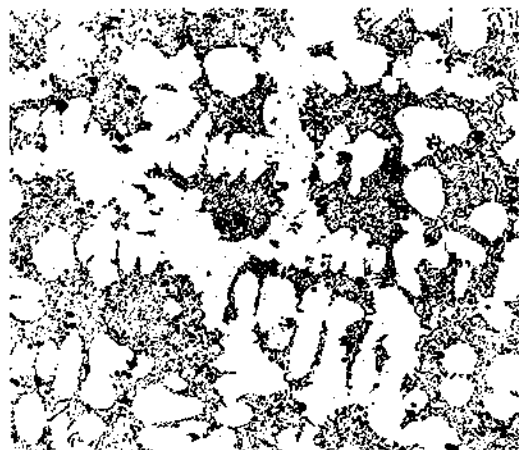
As polished (not etched) 100×

646 Type B distribution of graphite flakes in gray iron, characterized by rosette grouping and random orientation.



As polished (not etched) 100×

647 Type C distribution of graphite flakes in gray iron, characterized by superimposed flake size and random orientation.



As polished (not etched) 100×

648 Type D distribution of graphite flakes in gray iron, characterized by interdendritic segregation and random orientation.



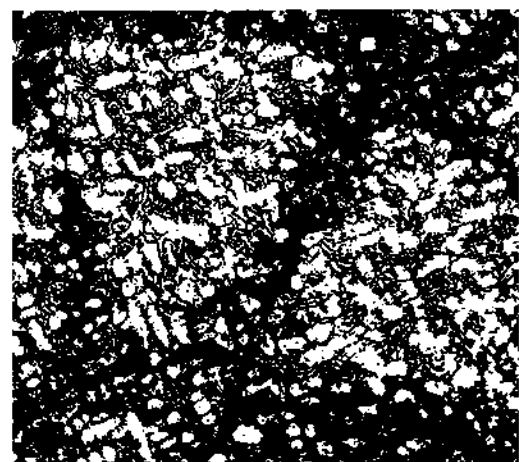
As polished (not etched) 100×

649 Type E distribution of graphite flakes in gray iron, characterized by interdendritic segregation and preferred orientation.



3:1 methyl acetate - liquid bromine 100×

650 Scanning electron micrograph of hypoeutectic gray iron with matrix etched to show position of type B graphite in space.



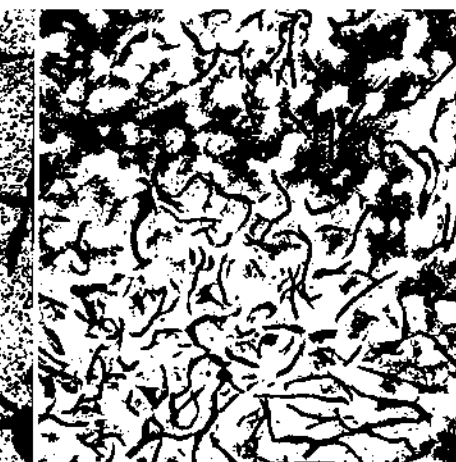
3% picral 100×

651 Class 20 gray iron stress relieved for 1 hr between 1125 and 1150 F (607 and 621 C). Structure is essentially as cast and consists of type D graphite flakes in a matrix of ferrite, with dark bands of pearlite at the cell boundaries; over-all dendritic pattern.



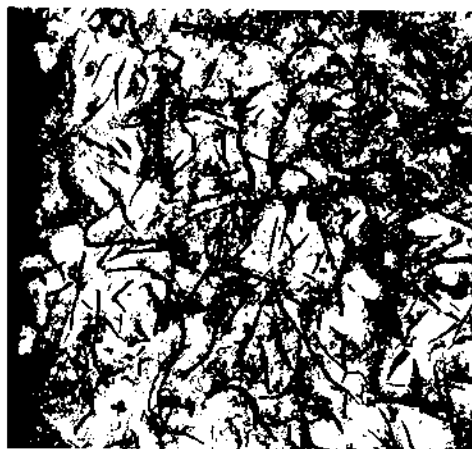
2% nital 500×

652 Class 20 gray iron ferritized annealed by heating 1 hr at 1400 F (760 C), cooling at 200 F (111 C) per hour to 500 F (260 C), air cooling. Type A graphite flakes, and a dispersion of fine spheroidized carbide particles and some massive carbide particles, in a matrix of ferrite.

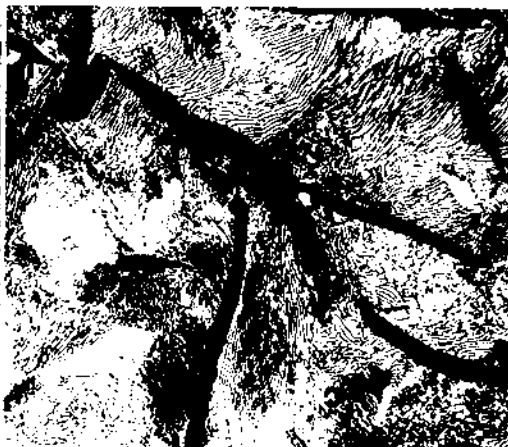


5% nital 100×

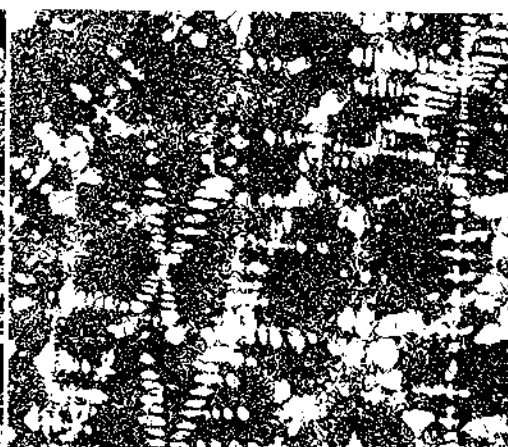
653 Class 20 gray iron medium annealed by holding at 1450 F (788 C) 1 per inch of thickness, furnace cooling to F (427 C), air cooling. Type A graphite matrix of free ferrite and pearlite; dark bands of pearlite at cell boundaries.



3% nital 100×
654 Class 30 gray iron as-cast in a sand mold. Structure: type A graphite flakes in a matrix of 20% free ferrite (light constituent) and 80% pearlite (dark constituent).



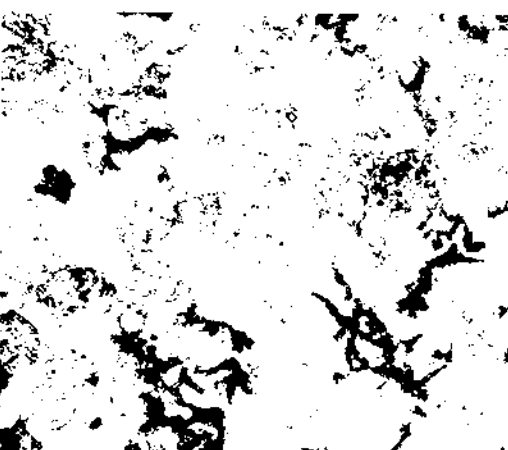
3% nital 500×
655 Class 30 gray iron as-cast. Structure: type A graphite flakes in a matrix of pearlite (alternating lamellae of light-etching ferrite and darker cementite).



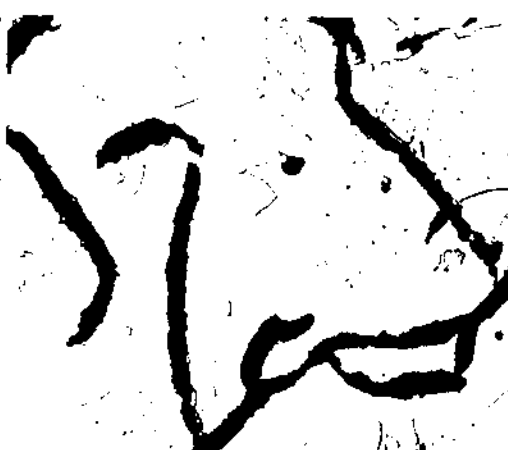
3% nital 100×
656 Class 30 gray iron cast in a permanent mold, then medium annealed for 45 min at 1625 F (885 C) and furnace cooled. Ferrite dendrites; type D graphite in ferrite matrix.



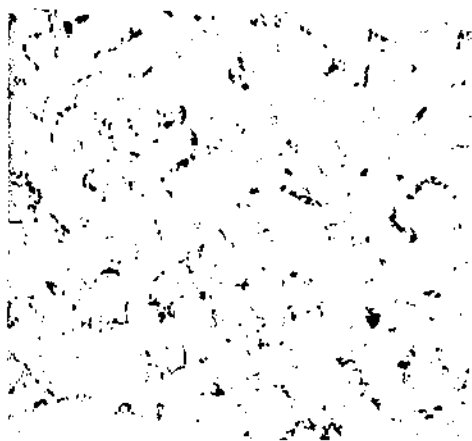
3% nital 100×
657 Class 40 gray iron as-cast. Structure: type D, size 7, graphite flakes in a matrix of fine pearlite, with numerous carbide articles (light) due to rapid solidification. See 68 for details of the pearlite matrix.



2% nital 750×
658 Same as 657 except at higher magnification, which shows details of the fine pearlite in the matrix. See micrograph 659 for the graphitizing effect of medium annealing on pearlite matrix and free carbide.



2% nital 750×
659 Same as 658 except medium annealed by holding 3 hr at 1450 F (788 C), cooling at 40 F (22 C) per hour to 1275 F (691 C), holding 4 hr, furnace cooling. Graphite and partly spheroidized pearlite in ferrite matrix.



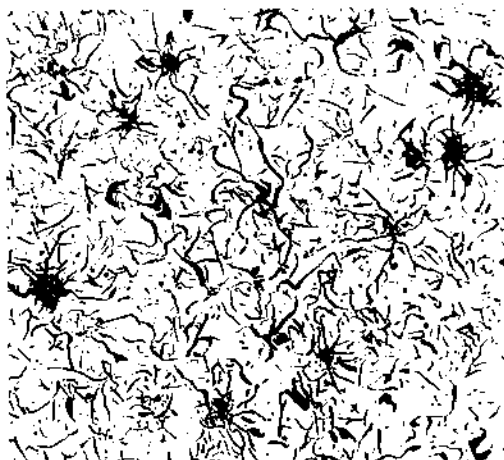
polished (not etched) 100×
660 Class 50 gray iron as-cast. Size 7 graphite flakes with interdendritic segregation. Flakes are mainly type D (random orientation), but some are type E (preferred orientation) — possibly due to inadequate inoculation. See 661.



2% nital 750×
661 Same as 660 except specimen has been etched and is shown at higher magnification. Matrix is fine pearlite, but contains some free carbide (white) — possibly as a result of unusually rapid solidification. See also 662.



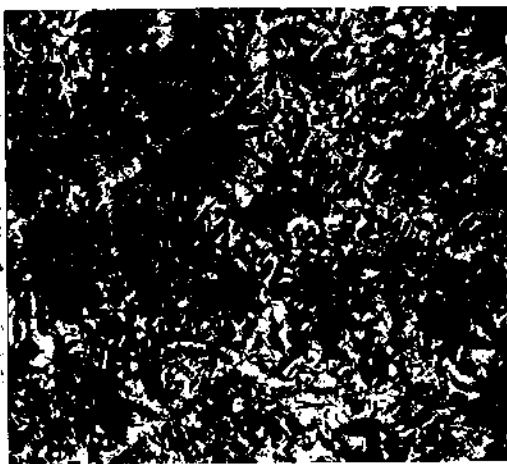
2% nital 750×
662 Same as 661 but held 3 hr at 1650 F (899 C), cooled at 40 F (22 C) per hour to 1275 F (691 C), held 5 hr, furnace cooled. The free carbide and much of the pearlite have been converted to graphite and free ferrite.



As polished (not etched)

100×

663 High-phosphorus gray iron (3.85 C, 2.65 Si, 0.10 S, 0.30 P, 0.65 Mn, 0.12 Cr) as sand cast, showing graphite flakes of types A and B, sizes 5 to 8. See also 664 and 665.



5% nital

100×

664 Same as 663 but etched. Structure: flake graphite in a matrix of fine pearlite (variegated gray) with less than 10% free ferrite and less than 5% free cementite. See also 665.



5% nital

500×

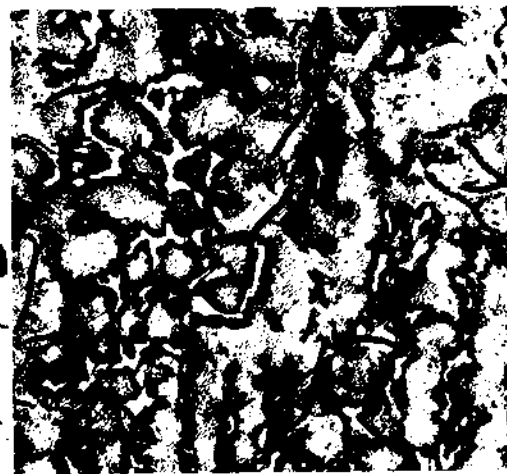
665 Same as 664 except at higher magnification, which reveals presence of a broken network of steadite (light, irregular, mottled areas; see 694) in the matrix of fine pearlite.



As polished (not etched)

100×

666 Alloy gray iron (3.26 C, 1.75 Si, 0.06 P, 0.11 S, 0.63 Mn, 0.52 Cr, 0.98 Mo, 0.064 Sn) as sand cast. Type A graphite flakes.



4% picral

100×

667 Same as 666, except specimen has been etched. Type A graphite in pearlite matrix; some free carbide (white, outlined).



4% picral

500×

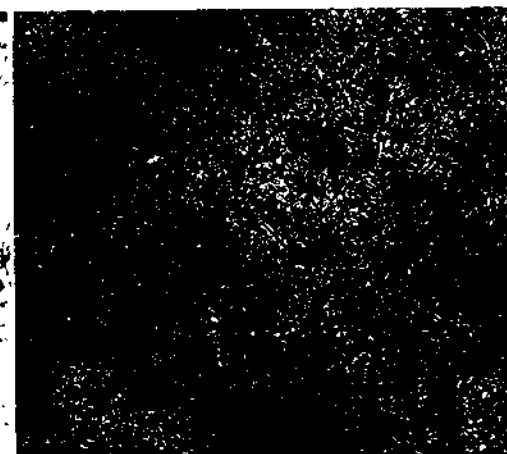
668 Same as 667 except at higher magnification, which shows that the pearlite matrix contains both fine and coarse lamellae.



As polished (not etched)

100×

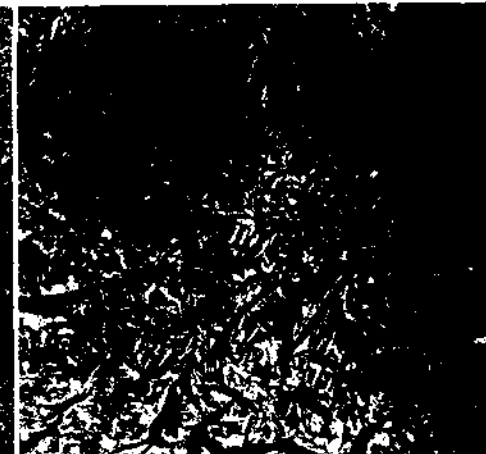
669 Alloy gray iron (3.80 C, 2.55 Si, 0.3 P, 0.7 Mn, 0.3 Cr, 0.65 Mo, 1.5 Cu). Thin-wall sand casting stress relieved at 1100 F (593 C). Graphite same as in 663. See 670.



5% nital

100×

670 Same as 669, except specimen has been etched to show microstructure. Types A and B graphite, sizes 5 to 8, in a matrix of bainite and fine pearlite. See micrograph 671.



5% nital

500×

671 Higher-magnification view of 670, which reveals the acicular appearance of the bainite (light gray); remaining structure fine pearlite (dark gray) and graphite (black).



nital 500×
672 Class 30B gray iron (3.54% C, 2.17% Si) austenitized at 1600 F (871 C), quenched in oil. Type A graphite in a matrix of martensite (dark); some carbide particles (light, outlined) and retained austenite (white).



2% nital 500×
673 Same as 672 except that after quenching, the iron was tempered at 900 F (482 C). Type A graphite flakes in a matrix of tempered martensite. See also 674 and 675 (specimens tempered at higher temperatures).



2% nital 500×
674 Same as 672 except that after quenching, the iron was tempered at 1000 F (538 C). Type A graphite flakes in a matrix of tempered martensite. Compare with 675 and 673 (higher and lower tempering temperatures).



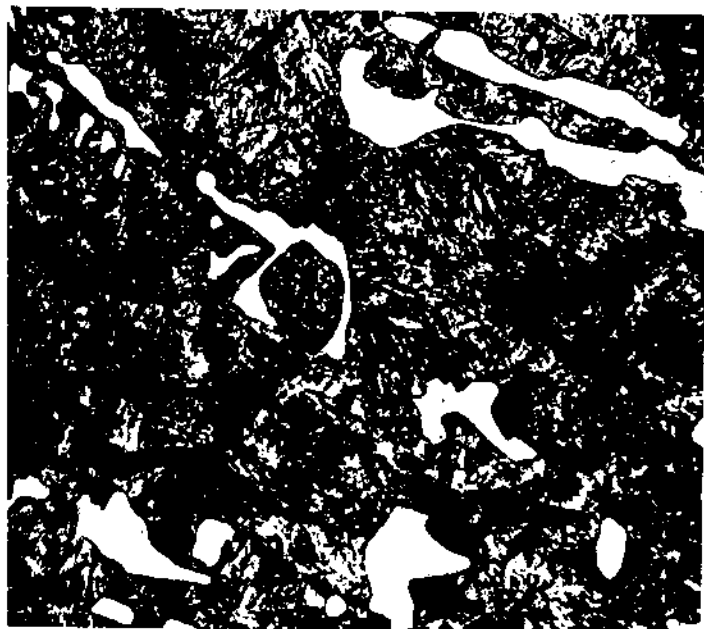
nital 500×
675 Same iron and austenitizing treatment as for 672, except that after the iron had been oil quenched it was tempered at 1100 F (593 C). Structure consists of type A graphite flakes in a matrix of tempered martensite; some carbide particles (light). See 673 and 674 for specimens of lower tempering temperatures.



5% nital 500×
676 Alloy gray iron (3.4 C, 2.3 Si, 0.74 Mn, 1.04 Cr, 0.25 Ni, 0.41 Mo) austenitized by holding at 1800 F (982 C), then oil quenched. Structure consists of type A graphite flakes in a matrix of coarse martensite (dark) and retained austenite (light); some carbide particles (light, outlined).



2% nital plus 4% picral 500×
677 Alloy gray iron (3.05 C, 2.11 Si, 0.83 Mn, 0.12 Cr, 0.05 Ni, 0.17 Mo) austenitized at 1600 F (871 C), oil quenched, tempered at 350 F (177 C). Type A graphite flakes. Insufficient time at austenitizing temperature resulted in martensite matrix with patches of lamellar pearlite, free carbide particles (white), and steadite (mottled; see 694).



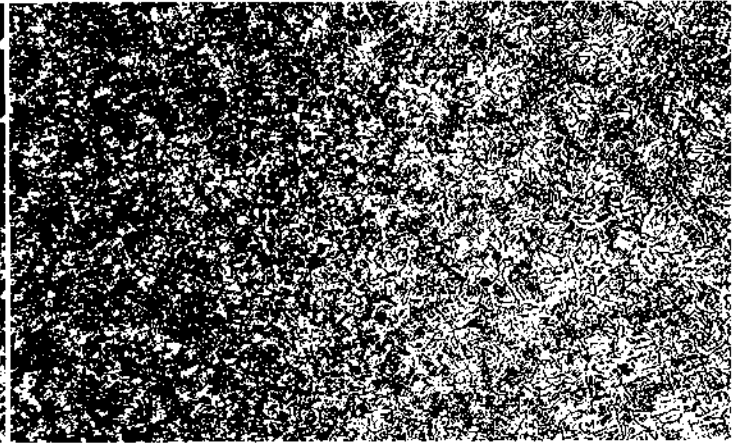
nital 750×
678 SAE G4000d alloy gray iron (0.8-1.1 Cr, 0.4-0.6 Mo) austenitized at 1600 F (871 C), oil quenched. Microstructure consists of type A graphite flakes, carbide particles (white areas), and a small amount of retained austenite, in a matrix of fine martensite. Compare with 679.



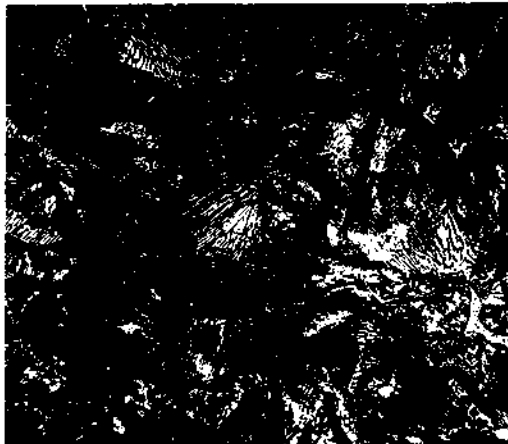
3% nital 750×
679 Same alloy gray iron as 678 but austenitized at 1800 F (982 C) before oil quenching. Structure shows effect of austenitizing at an excessively high temperature: matrix is coarser martensite and contains a large amount of retained austenite (light areas in the matrix).



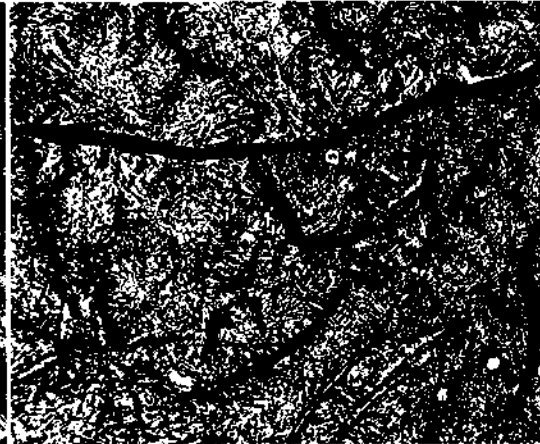
3% picral 500X
680 Class 30 gray iron that was liquid nitrided in a salt bath at 1060 F (571 C) for 3 hr and quenched in water. Type A graphite in a matrix of pearlite; layer of iron nitride (white) on surface. Note microstructural evidence that nitrogen has migrated along graphite flakes.



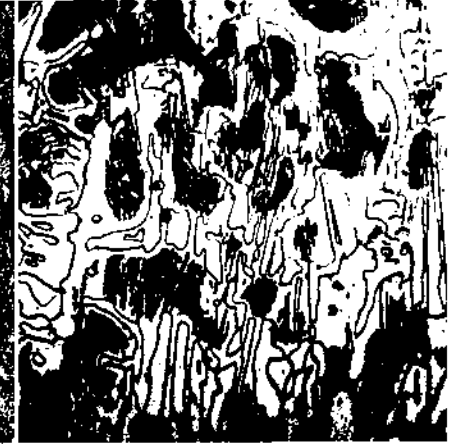
Vilella's reagent 500X
681 Flame hardened alloy gray iron of same composition as 680. Type A graphite in a pearlite matrix in the core (left), and a matrix of tempered martensite in the case (right). See 682 and 683 which show core and case structures at higher magnification.



2% nital plus 4% picral 500X
682 Same as 681, except this micrograph shows the structure of the unhardened core (241 Bhn). Type A graphite flakes in a matrix consisting essentially of pearlite.



2% nital 500X
683 Same as 681, except this micrograph shows the structure of the flame hardened case (601 Bhn), which consists of type A graphite flakes in a matrix of tempered martensite.



5% nital 50X
684 Class 35 gray iron as cast against chill. White iron in chilled zone showing free ferrite (light), cementite (light, outlined), patches of pearlite.



4% picral 12X
685 Shielded metal-arc surface weld on class 40 gray iron, made with nickel-iron (55% Ni) filler metal. Weld deposit at top, heat-affected zone in middle (see 686 for details), and gray iron base metal at bottom.



4% picral 150X
686 Details of the heat-affected zone of the surface welded class 40 gray iron in 685. Structure consists of type A graphite flakes (dark gray) in a matrix of martensite (light gray) and retained austenite (white constituent).



Nital 7X
687 Silver alloy brazing filler metal B2 (light gray, at top) on gray iron. Filler metal has penetrated voids produced the surface of the iron by electrochemical removal of graphite flakes prior to brazing.



polished (not etched)

200×

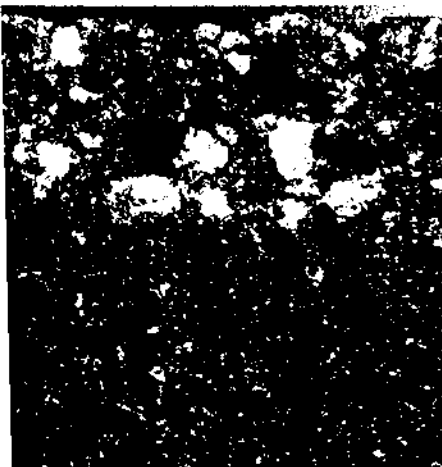
688 Class 30 gray iron containing a slag inclusion (large dark area), which was entrapped in the stream of molten metal during pouring. Type A graphite flakes.



Saturated picral

50×

689 Class 30B gray iron with an entrapped particle of ferrosilicon inoculant (large light area), which chilled adjacent area and caused plates of free cementite (light "needles") to form around the inclusion.



polished, not etched

20×

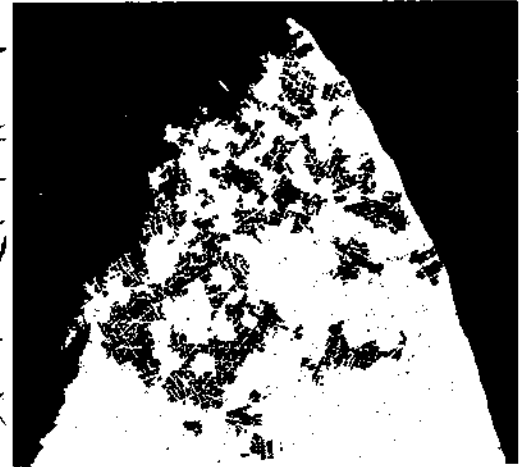
690 Class 30 gray iron casting with particles of sand (light areas) embedded near the top of the micrograph. Oblique lighting.



As polished (not etched)

100×

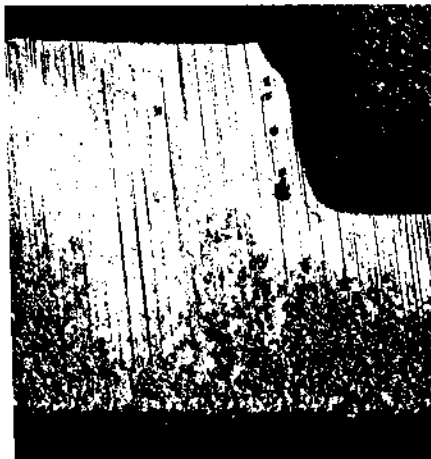
691 Class 30B gray iron with an entrapped particle of sand (large dark area) and type A graphite flakes.



As polished (not etched)

5×

692 Class 30 gray iron with shrinkage porosity (black, with dendrites), caused by insufficient feeding of molten metal.



polished, not etched

2×

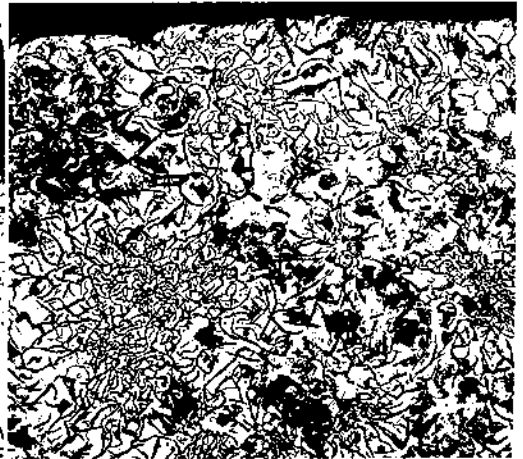
693 Class 20 gray iron casting with surface partly removed to reveal porosity (rows of holes) caused by gas entrapped during solidification of the casting.



3% nital

1500×

694 Class 30B gray iron. Areas of steadite (eutectic of small, rounded particles of iron phosphide in light-colored ferrite), and a type A graphite flake in a pearlite matrix.



4% nital

100×

695 Gray iron (3.3-3.6 C, 2.25-2.60 Si) with an abnormal structure (type B graphite flakes, and excessive ferrite in pearlite) which is a result of the casting process.

LAMPIRAN E
RULES FOR MATERIAL
RULES FOR THE CLASSIFICATION AND CONSTRUCTION
BIRO KLASIFIKASI INDONESIA

C. Grey Cast Iron

1. Scope

1.1 These Rules are applicable to grey cast iron for the manufacture of machinery and pipeline components, e.g. fittings, flanges, housings, hubs, wheel bodies, bed-plates, cylinders, and similar parts.

2. Suitable grades of cast iron

The following grades of cast iron may be used:

2.1 Grey cast iron conforming to DIN EN 1561, with the exception of grades EN-GJL-100 and EN-GJL-150.

2.2 Grades of cast iron conforming to other standards, provided that they are equivalent to the grades specified in 2.1 and meet the requirements of 4.

3. Condition of supply and heat treatment

Castings may be supplied in the as cast or heat-treated condition at the manufacturer's option unless a heat treatment is specified because of special requirements in respect of machinability or geometrical and dimensional stability.

4. Requirements applicable to the material

4.1 Mechanical characteristics

Castings shall normally be supplied with one of the following minimum tensile strengths R_m :

200 N/mm²

250 N/mm²

300 N/mm²

350 N/mm²

Castings with minimum tensile strength values of $< 200 \text{ N/mm}^2$ are not allowed. The requirements are applicable to specimens with a diameter of 20 mm in accordance with 5.2.4. The requirements regarding minimum tensile strength for separately and integrally cast specimens are specified in Table 8.6. The requirements for specimens taken from the casting (e.g. core specimens) shall be specially agreed between manufacturer and purchaser as well as BKI.

4.2 Graphite and matrix structure

The method of manufacture shall ensure that the graphite is present in uniformly distributed flakes and that a saturation level S_c of 1,0 is not exceeded. The level of saturation shall be determined by applying the following formula:

$$S_c = \frac{\% C}{4,3 - 0,33 (\% Si + \% P)}$$

The fracture of tested tensile specimens shall have a granular and uniform grey crystalline appearance.

Table 8.6 Tensile strength of grey cast iron

Material designation		Determining wall thickness [mm]		Tensile strength R _m values to comply with	
Material code	Number	over	Up to	In separately cast test specimens [N/mm ²]	In integrally cast test specimens [N/mm ²] min.
EN-GJL-200	EN-JL1030	2,5 ²⁾	5	200 – 300 ³⁾	-
		5	10		-
		10	20		-
		20	40		170
		40	80		150
		80	150		140
		150	300		130 ¹⁾
EN-GJL-250	EN-JL1040	5 ²⁾	10	250 – 350 ³⁾	-
		10	20		-
		20	40		210
		40	80		190
		80	150		170
		150	300		160 ¹⁾
EN-GJL-300	EN-JL1050	10 ²⁾	20	300 – 400 ³⁾	-
		20	40		250
		40	80		220
		80	150		210
		150	300		190 ¹⁾
EN-GJL-350	EN-JL1060	10 ²⁾	20	350 – 450 ³⁾	-
		20	40		290
		40	80		260
		80	150		230
		150	300		210 ¹⁾
1) These values are guidances.					
2) This value is included as lower limit of the range of determining wall thickness.					
3) The values refer to test specimens with 30 mm diameter of rough casting. This corresponds to a determining wall thickness of 15 mm.					

5. Testing and scope of tests

The following tests are to be performed:

5.1 Test of chemical composition

The manufacturer shall constantly monitor the chemical composition and the saturation level of each treatment unit (ladle) and shall pass this information on to the Surveyor on request. Determination of at least the following elements is required: C, Mn, Si, P and S.

5.2 Testing of mechanical properties and selection of specimens

5.2.1 The tensile strength is to be determined by a tensile test. For this purpose, separately cast specimens with 30 mm diameter of rough casting and 200 mm minimum length according to Fig. 8.4 may be used as well as integrally cast specimens of type 2 according to DIN EN 1561, see also Fig. 8.5.

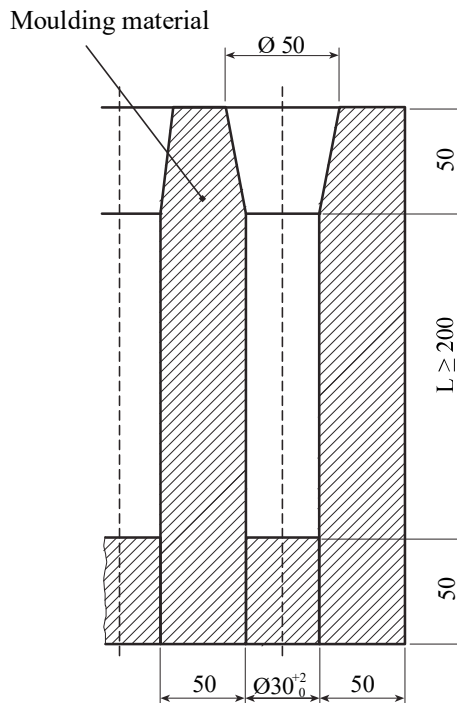


Fig. 8.4 Mould for separately cast test specimen

5.2.2 The test sample type shall be so selected that about the same conditions for cooling down apply as for the casting unit.

5.2.3 For casting units which determining wall thickness exceeds 20 mm and which gross weight is larger than 200 kg, integrally cast test specimens shall be used.

5.2.4 A test specimen of 20 mm diameter is to be taken from each sample for testing. Thereby the fracture surfaces of the test specimens shall be assessed. For test specimen shape, refer to Section 2, D.1.3.6.

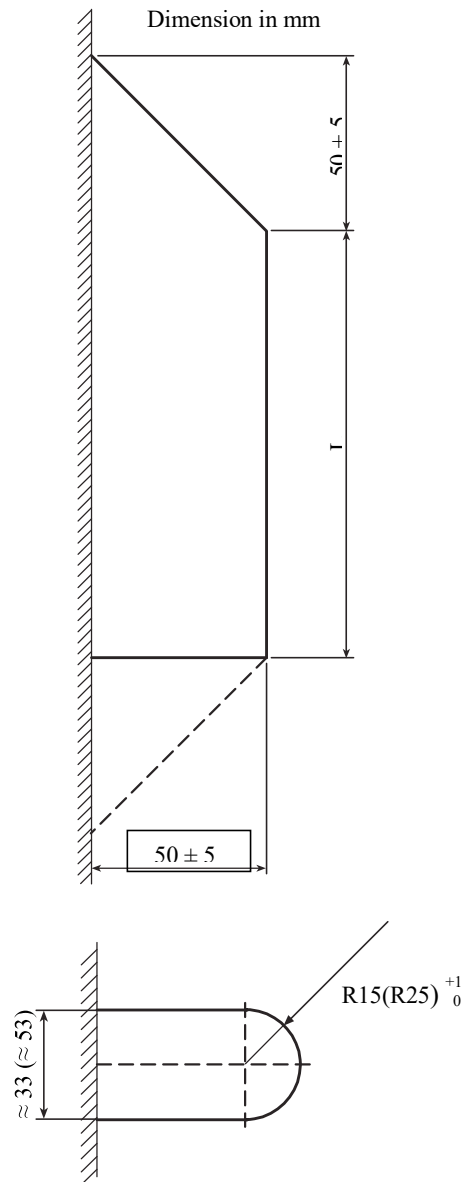
5.2.5 The following number of samples is to be provided:

- For heavy casting units with gross weights of minimum 1000 kg one sample plus one sample per treatment batch shall be provided.
- For casting units with gross weights of less than 1000 kg one sample per treatment batch shall be provided. In case of testing by batch one sample per 1000 kg gross weight of the test batch shall be provided and one additional sample for each further 2000 kg gross weight of the test batch. Precondition is that all casting units are from a series of the same type and have been cast from the same treatment batch and heat treated, where applicable

5.3 If casting units are supplied in heat treated condition, the samples shall be heat treated together with the respective casting units.

The details of 5.2.2 shall be observed in this connection.

Integrally cast sample pieces may be removed from the casting unit only after heat treatment.



The numbers in brackets apply to casting units with wall thickness larger or equal 80 mm

Fig. 8.5 Integrally cast test specimen

5.4 Test of surface finish and dimensions

The manufacturer shall inspect each casting with regard to its surface finish and compliance with the dimensional and geometrical tolerances and shall then present the casting to the Surveyor for final inspection.

BIODATA PENULIS



Rizky Andrianto Prasetya, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Jakarta pada 6 Mei 1994 silam, Penulis merupakan anak ketiga dari 4 bersaudara dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada SDN PULOGEBANG 05 PAGI Jakarta, SMPN 172 Jakarta pada tahun 2006/2007 kemudian melanjutkan ke MTs SAHID SAHIRMAN BOARDING SCHOOL bogor pada tahun 2006/2007-2008/2009 dan SMAN 44 Jakarta. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2012 melalui jalur SMITS (Seleksi Masuk ITS).

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi *staff* Panitia SAMPAN (Semarak Mahasiswa Perkapalan). Selan itu, Penulis juga memiliki hobi bermain futsal dan termasuk aktif dalam kegiatan futsal di Departmen Teknik Perkapalan.

Email: kikyaprasetya@gmail.com